



**Universidade Federal de Campina Grande**  
**Centro de Ciências e Tecnologia**  
**Programa de Pós Graduação em**  
**Engenharia de Processos**

**TESE**

**ENRIQUECIMENTO NUTRICIONAL POR**  
**BIOCONVERSÃO DE RESÍDUOS**  
**AGROINDUSTRIAIS PARA UTILIZAÇÃO**  
**NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL**

**Doutoranda:** Marinévea Medeiros de Oliveira

**Orientador:** Prof Dr. Flávio Luiz Honorato da Silva

Campina Grande – PB  
Maio – 2007



**Universidade Federal de Campina Grande**  
**Centro de Ciências e Tecnologia**  
**Programa de Pós Graduação em Engenharia de Processos**

**Área de Concentração: Processos Químicos**

**ENRIQUECIMENTO NUTRICIONAL POR BIOCONVERSÃO DE RESÍDUOS  
AGROINDUSTRIAIS PARA UTILIZAÇÃO NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

O48e

2007 Oliveira, Marinévea Medeiros.

Enriquecimento nutricional por bioconversão de resíduos agroindustriais para utilização na alimentação animal / Marinévea Medeiros Oliveira. — Campina Grande: 2007.  
121f. : il.

Tese (Doutorado em Engenharia de processos) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia.

Referências.

Orientador: Dr. Flávio Luiz Honorato da Silva.

1. *Saccharomyces cerevisiae*. 2. Fermentação Semi-Sólida. 3. Casca e Coroa de Abacaxi. 4. Casca de Maracujá. I. Título.

CDU 664.642



**Universidade Federal de Campina Grande**  
**Centro de Ciências e Tecnologia**  
**Programa de Pós Graduação em Engenharia de Processos**

**Área de Concentração: Processos Químicos**

**ENRIQUECIMENTO NUTRICIONAL POR BIOCONVERSÃO DE RESÍDUOS**  
**AGROINDUSTRIAIS PARA UTILIZAÇÃO NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL**

Tese de Doutorado apresentada à Coordenação do curso de Engenharia de Processos da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos exigidos para obtenção do Título de Doutora em Engenharia de Processos.

**Autora: Marinévea Medeiros de Oliveira**  
Licenciatura em Química (CCT/UEPB, 1987)  
Especialização para o ensino de Química (CCT//UEPB, 1995)  
Mestre de Armazenamento (UAEA/CCT/UFCG, 1998)

Orientador: Dr. Flávio Luiz Honorato da Silva

Campina Grande – PB

Maio – 2007

**ENRIQUECIMENTO NUTRICIONAL POR BIOCONVERSÃO DE RESÍDUOS  
AGROINDUSTRIAIS PARA UTILIZAÇÃO NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL**

Marinévea Medeiros de Oliveira

Tese de Doutorado apresentada à  
Coordenação do Curso de Doutorado  
em Engenharia de processos da  
universidade federal de Campina  
Grande-Campus I, como parte dos  
requisitos necessários para obtenção  
do Grau de Doutora em Engenharia  
de Processos.

Área de Concentração: Processos Químicos

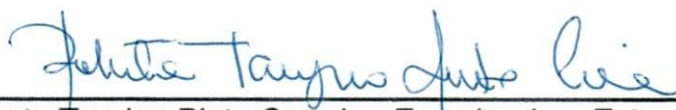
Flávio Luiz Honorato da Silva, Dr.  
Orientador

Campina Grande -PB - Brasil

**ENRIQUECIMENTO NUTRICIONAL POR BIOCONVERSÃO DE RESÍDUOS  
AGROINDUSTRIAIS PARA UTILIZAÇÃO NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL**

Marinévea Medeiros de Oliveira

Tese aprovada em: 03 de Maio de 2007



Roberta Targino Pinto Correia - Examinadora Externa - UFRN



Lúcia de Fátima Araújo - Examinadora Externa - EMEPA



Rossana Maria Feitosa de Figueiredo - Examinadora Externa - UFCG



Josilene de Assis Cavalcante - Examinadora Externa - UFCG



Josivanda Palmeira Gomes de Gouveia - Examinadora Interna - UFCG



Flávio Luiz Honorato da Silva - Orientador - UFCG

“Nunca se afaste de seus sonhos.  
Porque se eles forem você  
continuará vivendo, mas terá deixado  
de existir”  
Mark Twain

Dedico a minha Mãe Mariana pelo apoio, dedicação, cuidado e amor para que nada faltasse em todo o meu caminho de vida, especialmente nesta parte da minha vida, para a construção da tese, essa tese é Dela. Amo a Senhora!



*DEUS*, cuide bem de Ismar Medeiros de oliveira e José Medeiros de oliveira (meus irmãos) e de Alzira Francelina (minha segunda Mãe), que se foram quando eu estava realizando este trabalho. Saudades... Luiz dos Santos Oliveira (*in memorian*)

*DEUS*, obrigada por ter hoje ainda nove irmãos. O Senhor é sábio e ama a todos por igual...! A meus sobrinhos, muito carinho e amor, especialmente Kleyber, Paulo e Germana. DEUS cuide bem de todos!

À Ana Regina, Renato e Rennan, pelo fato de ter cruzado o meu caminho, pela amizade e a contribuição durante todo o tempo deste projeto, sabe que o carinho que tenho por vocês é único. Pode contar comigo pra tudo! Obrigada mesmo!

À Flávio Luiz Honorato da Silva, agradeço de coração tudo o que me ensinou com paciência, compreensão, determinação e amizade na realização desse trabalho. Deus te abençoe a cada passo de sua vida, Ele ama todos! Obrigada por tudo!

## **Agradecimentos**

Aos membros da Banca Examinadora, pela disposição e correções necessárias neste trabalho.

A amiga de minha mãe, Dona Betinha Nunes, pela confiança e apoio ao pedido do meu afastamento da empresa para elaboração da tese.

Ao amigo da Emepa Ivan Granjeiro, pelo incentivo e confiança para conclusão deste trabalho.

A Diretoria da Emepa pela compreensão do afastamento de minhas atividades na empresa para a elaboração deste trabalho.

Ao Sr. José Lopes e Sr. Nogueira pela ajuda em todos os experimentos realizado no laboratório.

A pesquisadora Dra. Rosa pela grande ajuda indispensável, em ter cedido o laboratório da EMBRAPA e a laboratorista Diva pelo o acompanhamento de todas as análises realizadas nesta Instituição.

As amigas Sharline, Kátia e Liana pela ajuda e auxílio durante a realização dos experimentos.

A todas as pessoas que de uma forma ou de outra, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

**RESUMO** - O Brasil é um dos principais produtores mundial de abacaxi e maracujá, com uma grande quantidade de resíduos desperdiçados que já se tornou um sério problema aos produtores de abacaxi e maracujá e as indústrias de alimentos em geral. Em países desenvolvidos, a produção agropecuária se caracteriza com baixos custos operacionais, em razão das utilizações de restos de culturas e de resíduos agroindustriais como alternativas na alimentação animal, contribuindo para minimizarem os problemas de poluição. O objetivo deste trabalho foi definir ações no campo da pesquisa na alimentação alternativa nutricional para animais, de modo a realizar o aproveitamento destes resíduos enriquecidos nutricionalmente (protéico, vitamínico, mineral e energético) utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae* como agente da metabolização, de uma maneira tecnicamente viável, visando a disponibilidade do produto, para os produtores. Foram feitas as isothermas de dessorção dos resíduos em estudo, nas temperaturas usuais dos processos das fermentações, 25, 30, 35 e 40 °C, ajustando os dados através da aplicação de modelos matemáticos, e verificou-se que, deve-se iniciar o processo de fermentação com umidade inicial do substrato para os três resíduos acima de 84% (b.u.), o que equivale a atividade de água acima de 0,90. No estudo cinético verificou-se que o melhor tempo em que o microrganismo atingiu o maior teor de proteína bruta foi, em média, de 48 h, para todos os resíduos analisados. Utilizou-se a metodologia de planejamento fatorial mais configuração estrela para estudar as influências das variáveis de entrada sobre o processo de enriquecimento nutricional dos resíduos casca de abacaxi (Caa), coroa de abacaxi (Coa) e casca de maracujá (Cam), com concentrações de leveduras de 1, 3 e 5% e temperaturas de 30, 34 e 38 °C. Fez-se o planejamento fatorial mais configuração estrela para os três resíduos, com duas variáveis de saída (respostas: teor de proteína bruta e teor de aumento protéico). O aumento protéico (AP) encontrado para os três resíduos analisados, foi em média de 2,40 vezes em relação ao *in natura*. Os valores otimizados dos três resíduos casca de abacaxi (Caa), coroa de abacaxi (Coa) e casca de maracujá (Cam) (concentração

em torno de 3 – 5,8% e temperaturas de 34 – 40 °C), no tempo de 48 h, visando baratear os custos do enriquecimento e obter um teor de proteína adequado na alimentação animal foram de 24,66, 23,88 e 22,74%, respectivamente. Foram realizadas as análises de proteína bruta (PB), matéria seca (MS), cinzas (MM), matéria orgânica (MO), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA), energia bruta (EB) e digestibilidade “in vitro” (DIVMS *in vitro*) nos resíduos operando com as variáveis de entrada (concentração de levedura e temperatura) com valores otimizados. Conclui-se que através da bioconversão, os resíduos alcançam concentrações nutricionais que, podem ser transformados em suplemento nutricional, sendo uma alternativa alimentar para os animais, na época de escassez de alimento no semi-árido.

**PALAVRAS-CHAVES:** *Saccharomyces cerevisiae*, fermentação semi-sólida, casca e coroa de abacaxi; casca de maracujá

**ABSTRACT** - Brazil stands out among the big world-wide producers of pineapple (*Ananas comosus* L. Mer) and passion fruit (*Passiflora edulis* Sims), with a great amount of wasted residues, which has become a serious problem for the pineapple and passion fruit producers and the aliment industries in general. In developed countries, the farming production is characterized by low operational costs, because of the use of the remaining portions of cultures and agro-industrial residues as an alternative in animal feed, which also contributes to minimizing pollution problems. The aim of this work was to define actions in the field of research of nutritional alternative feed for animals, in order to carry through the exploitation of these nutritionally enriched (protein, vitamin, mineral and energy) residues by using *Saccharomyces cerevisiae* yeast as an agent of metabolism, in a technical viable way, aiming at the availability of the product to the producers. Desorption isotherms of the residues in study were done at the usual temperatures of fermentation processes, 25, 30, 35 and 40 °C, fitting the data through the application of mathematical models, and it was verified that the process of fermentation must be initiated with the initial moisture content of the substratum for the three residues above of 84% (w.b), which is equivalent to the water activity above of 0.90. In the kinetic study it was verified that optimum time where the microorganism reached the highest content was, on average, 48 hours, for all the residues analyzed. Methodology of factorial design plus configuration star was used to study the influences of the entrance variable on the process of nutritional enrichment of the residues of pineapple rind (PR), crown of pineapple (CP) and rind of passion fruit (PF), with concentrations of yeast at 1, 3 and 5% and temperatures of 30, 34 and 38 °C. The factorial design plus configuration star was performed for the three residues, with two exit variables (response: gross protein content and protein increase content). The protein increase content (PI) found for the three analyzed residues was on average of 2.40 times in relation to *in natura*. The optimized values of the three residues of pineapple rind (PR), crown of pineapple (CP) and passion fruit rind (PFR) (concentration around 3-5.8% and

temperatures of 34-40 °C), in the time of 48 hours, aiming to lower the costs of the enrichment and to obtain an adequate protein content in the animal feed were of; 24.66, 23.88 and 22.74%, respectively. Gross protein (GP), dry substance (DS), leached ashes (LA), organic substance (OG), phosphorus (P), calcium (Ca), magnesium (Mg), potassium (K), fiber neutral detergent (FND), acid fiber detergent (AFD), rude energy (RE) and digestibility *in vitro* (DIVMS *in vitro*) analysis were performed in the residues, operating with the entrance variables (concentration of yeast and temperature) with optimized values. It can be concluded that through bioconversion, the residues reach nutritional concentrations that can be transformed into a nutritional supplement alternative, being an option to feed animals at times of food scarcity in semi-arid climates.

**KEY WORDS:** *Saccharomyces cerevisiae*, semisolid fermentation, pineapple rind and crown, passion



<b>SUMÁRIO</b>		<b>p.</b>
<b>RESUMO.....</b>		<b>I</b>
<b>ABSTRACT.....</b>		<b>III</b>
<b>Lista de Figuras.....</b>		<b>X</b>
<b>Lista de Quadros.....</b>		<b>XII</b>
<b>Lista de Tabelas.....</b>		<b>XIII</b>
<b>Lista de Símbolos.....</b>		<b>XV</b>
<b>Lista de Abreviaturas.....</b>		<b>XVII</b>
 <b>Capítulo 1– Introdução.....</b>		 <b>1</b>
1.	Justificativa.....	2
1.1.	Objetivo geral.....	4
1.1.1.	Objetivos específicos.....	4
 <b>Capítulo 2 – Revisão de Literatura.....</b>		 <b>5</b>
2.1.	Substrato .....	5
2.1.1.	Abacaxi e seus resíduos .....	5
2.1.2.	Maracujá e seu resíduo .....	7
2.2.	Microrganismo .....	12
2.2.1.	Levedura .....	13
2.2.1.1.	Composição química da levedura .....	14
2.2.1.2.	Importância econômica da levedura .....	16
2.2.1.3.	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> .....	18
2.3.	Fermentação semi-sólida (FSS) .....	19
2.3.1.	Definições .....	19
2.4.	Fatores que interferem no processo de FSS .....	20
2.4.1.	Parâmetros do sistema e controle do processo.....	20
2.4.1.1.	Pré-tratamento .....	20
2.4.1.2.	Temperatura .....	22
2.4.1.3.	Umidade e atividade de água do substrato .....	23
2.4.1.4.	pH .....	24
2.4.1.5.	Pectina.....	24
2.4.1.6.	Cinzas.....	25
2.4.1.7.	Aeração .....	25
2.4.1.8.	Teor de açúcar .....	26
2.4.1.9.	Sólidos solúveis totais (°Brix).....	27
2.4.1.10.	Granulometria .....	27
2.4.1.11.	Espessura da camada .....	28
2.4.1.12.	Fonte de nitrogênio e carbono.....	29
2.4.1.13.	Secagem .....	30
2.5.	Biorreator .....	30
 <b>Capítulo 3 – Material e Métodos .....</b>		 <b>33</b>
3.1.	Matérias primas .....	33
3.1.1.	Substratos.....	34

3.1.2.	Microorganismo.....	34
3.2.	Métodos experimentais.....	34
3.2.1.	Umidade (X).....	34
3.2.2.	Atividade de água e isoterma de dessorção.....	35
3.2.2.1.	Modelos matemáticos para ajuste das isotermas.....	36
3.3.	Estudos cinéticos de crescimento dos microrganismos em Fermentação Semi-sólida .....	37
3.3.1.	Preparação das amostras no processo fermentativo – Biorreatores.....	38
3.4.	Planejamento fatorial .....	39
3.5.	Preparo do inóculo.....	40
3.6.	Análises químico-bromatológica.....	41
3.6.1.	pH.....	41
3.6.2.	Matéria seca (MS).....	41
3.6.3.	Proteína bruta (PB).....	41
3.6.4.	Aumento protéico (AP).....	41
3.6.5.	Energia bruta (EB).....	42
3.6.6.	Fibra em detergente neutro (FDN).....	42
3.6.7.	Fibra em detergente ácido (FDA).....	42
3.6.8.	Cinza (MM) e matéria orgânica (MO).....	43
3.6.9.	Digestibilidade <i>in vitro</i> da matéria seca (DIVMS <sub>in vitro</sub> ).....	43
3.6.10.	Pectina .....	44
3.6.11.	Sólidos solúveis totais (°Brix).....	45
3.6.12.	Açúcares redutores (AR).....	45
3.6.13.	Determinação de cálcio (Ca) e magnésio (Mg).....	45
3.6.14.	Determinação do fósforo (P).....	45
3.6.15.	Determinação de potássio (K).....	46
 <b>Capítulo 4 – Resultados e Discussão – Características físicas e físico-químicas e atividade de água dos resíduos – Caa, Coa e Cam.....</b>		<b>47</b>
4.1.	Características física e físico-químicas da casca e coroa de abacaxi <i>in natura</i> .....	47
4.2.	Características física e físico-químicas da casca de maracujá <i>in natura</i> .....	48
4.3.	Isotermas de dessorção da casca de abacaxi.....	50
4.4.	Isotermas de dessorção da coroa de abacaxi.....	55
4.5.	Isotermas de dessorção da casca de maracujá.....	60
4.6.	Conclusão.....	65
 <b>Capítulo 5 – Resultados e Discussão – Estudo da cinética fermentativa dos resíduos.....</b>		<b>66</b>
5.1.	Estudo cinético do enriquecimento protéico dos resíduos Caa, Coa e Cam.....	66
5.2.	Considerações gerais.....	72
5.3.	Conclusão.....	72

	<b>Capítulo 6 – Resultados e Discussão - Estudo do planejamento fatorial para otimizar o enriquecimento protéico dos resíduos Caa, Coa e Cam.....</b>	<b>73</b>
6.1.	Planejamento fatorial mais configuração estrela dos resíduos Caa, Coa e Cam.....	73
6.1.1.	Casca de abacaxi.....	73
6.1.2.	Coroa de abacaxi.....	77
6.1.3.	Casca de maracujá.....	80
6.2.	Síntese da análise da regressão dos modelos codificados dos resíduos.....	84
6.3.	Análise de superfície de resposta do resíduo Caa para a variável de respostas (PB e AP) no processo no enriquecimento protéico.....	84
6.4.	Análise de resposta do resíduo Coa para as variáveis de respostas (PB e AP) no processo do enriquecimento protéico.....	87
6.5.	Análise de superfície de resposta do resíduo Cam para a variável de respostas PB no processo do enriquecimento protéico.....	87
6.6.	Considerações gerais.....	89
6.7.	Conclusão.....	89
	<b>Capítulo 7 – Resultados e Discussão – Estudo Nutricional dos Resíduos com os Valores Otimizados</b>	<b>91</b>
7.1.	Caracterização químico-bromatológica do resíduo Caa com valores otimizados.....	91
7.2.	Caracterização químico-bromatológica do resíduo Coa com os valores otimizados.....	94
7.3.	Caracterização químico-bromatológica do resíduo Cam com valores otimizados.....	96
7.4.	Considerações Gerais.....	101
7.5.	Conclusão.....	102
	<b>Capítulo 8 – Conclusão geral.....</b>	<b>103</b>
	<b>Capítulo 9 – Perspectivas para futuros trabalhos.....</b>	<b>104</b>
	<b>Capítulo 10 – Referências Bibliográficas.....</b>	<b>105</b>
	<b>Capítulo 11 – Anexos – Trabalhos Publicados.....</b>	<b>126</b>

	<b>Lista de Figuras</b>	<b>p.</b>
Figura 2.1.	Influência do tamanho das partículas na velocidade de fermentação do açúcar de beterraba por <i>Zymomonas mobilis</i> para a produção de etanol (AMIN, 1992).....	21
Figura 3.1.	Frutos de abacaxi Pérola e maracujá amarelo .....	34
Figura 3.2.	Fluxograma da metodologia do enriquecimento nutricional dos resíduos.....	38
Figura 4.1.	Isotermas de dessorção da casca do abacaxi nas temperaturas 25-A; 30-B; 35-C e 40 °C-D, utilizando-se as equações de Henderson e GAB. Valores experimentais (pontos) e modelos (linhas).....	50
Figura 4.2.	Modelo de GAB para o resíduo casca do abacaxi.....	51
Figura 4.3.	Regressão linear do modelo de Henderson, nas temperaturas de 25 (A), 30 (B), 35 (C) e 40 °C (D).....	52
Figura 4.4.	Isotermas de dessorção da coroa do abacaxi nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C, ajustadas pelo modelo matemático de BET.....	57
Figura 4.5.	Isotermas de dessorção da coroa do abacaxi nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C, ajustadas pelo modelo matemático de GAB .....	58
Figura 4.6.	Isotermas de dessorção da casca de maracujá nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C, ajustadas pelo modelo matemático de Henderson.....	58
Figura 4.7.	Isotermas de dessorção da casca de maracujá nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C, ajustadas pelos modelos matemáticos de BET, GAB e Henderson.....	60
Figura 4.8.	Isotermas de dessorção da casca de maracujá nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C.....	61
Figura 5.1.	Cinética do enriquecimento protéico na $C_L = 1\%$ e $T = 30\text{ °C}$	67
Figura 5.2.	Cinética do enriquecimento protéico na $C_L = 5\%$ e $T = 30\text{ °C}$	68
Figura 5.3.	Cinética do enriquecimento protéico na $C_L = 1\%$ e $T = 38\text{ °C}$	69
Figura 5.4.	Cinética do enriquecimento protéico na $C_L = 5\%$ e $T = 38\text{ °C}$	70
Figura 5.5.	Cinética do enriquecimento protéico na $C_L = 3\%$ e $T = 34\text{ °C}$	71
Figura 6.1.	Gráfico de Pareto para o teor de proteína bruta da Caa.....	75
Figura 6.2.	Gráfico de Pareto para o teor de aumento protéico da Caa.....	76
Figura 6.3.	Gráfico de Pareto para o teor de proteína bruta da Coa.....	79
Figura 6.4.	Gráfico de Pareto para o teor de aumento protéico da Coa..	79
Figura 6.5.	Gráfico de Pareto para o teor de proteína bruta da Cam.....	82
Figura 6.6.	Gráfico de Pareto para o teor de aumento protéico da Cam.	83
Figura 6.7.	Influência das variáveis de entrada $C_L$ e $T$ sobre o teor de proteína bruta da Caa.....	86
Figura 6.8.	Influência das variáveis de entrada $C_L$ e $T$ sobre o teor de aumento protéico da Caa.....	88
Figura 6.9.	Influência das variáveis de entrada $C_L$ e $T$ sobre o teor de proteína bruta da Cam.....	89
Figura 7.1.	Resíduos Caa, Coa e Cam enriquecido com a levedura	

<i>Saccharomyces cerevisiae</i> .....	101
---------------------------------------	-----

<b>Lista de Quadros</b>		<b>p.</b>
Quadro 2.1.	Composição químico-bromatológica de resíduos do abacaxi.....	06
Quadro 2.2.	Composição químico-bromatológica de resíduos do maracujá.....	08
Quadro 2.3.	Composição químico-bromatológica de sementes e torta de maracujá roxo e amarelo, encontrados na literatura.....	09
Quadro 2.4.	Composição químico-bromatológica da casca de três variedades de maracujá.....	10
Quadro 2.5.	Composição químico-bromatológica da casca de duas variedades de maracujá (roxo e amarelo), apresentada por diversos autores.....	11
Quadro 2.6.	Composição químico-bromatológica do resíduo <i>in natura</i> e da silagem de maracujá amarelo encontrados na literatura.....	12
Quadro 2.7.	Composição químico-bromatológica da levedura de cana-de-açúcar e levedura de cerveja com base na matéria <i>in natura</i> .....	15
Quadro 2.8.	Composição em aminoácidos da levedura de cana-de-açúcar e levedura de cerveja com base na matéria <i>in natura</i> .....	15
Quadro 2.9.	Composição em vitaminas do complexo B existentes na levedura <i>Saccharomyces cerevisiae</i> .....	16
Quadro 7.1.	Composição nutricional de alguns farelos e tortas para animais.....	102

<b>Lista de Tabelas</b>		<b>p.</b>
Tabela 3.1.	Modelos matemáticos para o ajuste das isotermas de casca e coroa de abacaxi e casca de maracujá .....	36
Tabela 3.2.	Matriz de planejamento fatorial mais configuração estrela.	40
Tabela 3.3.	Níveis das variáveis de entrada do planejamento fatorial mais configuração estrela.....	40
Tabela 4.1.	Características físicas dos frutos de abacaxi <i>in natura</i> .....	46
Tabela 4.2.	Características físico-químicas da casca e coroa do abacaxi.....	47
Tabela 4.3.	Análises físicas dos frutos de maracujá.....	48
Tabela 4.4.	Análises físico-químicas da casca do maracujá.....	48
Tabela 4.5.	Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ), em base seca, para a casca do abacaxi em função da temperatura e da atividade de água ( $a_w$ ).....	49
Tabela 4.6.	Parâmetros de ajuste do modelo de Henderson e GAB para a casca do abacaxi a diferentes temperaturas .....	53
Tabela 4.7.	Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ), em base seca, para a coroa do abacaxi em função da temperatura e da atividade de água ( $a_w$ ).....	54
Tabela 4.8.	Parâmetros das isotermas de dessorção da coroa do abacaxi para os diferentes modelos matemáticos.....	54
Tabela 4.9.	Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ), em base seca, para a casca do maracujá em função da temperatura e da atividade de água ( $a_w$ ).....	59
Tabela 4.10.	Parâmetros de ajuste das isotermas de dessorção da casca do maracujá para os diferentes modelos matemáticos.....	63
Tabela 5.1.	Valores dos teores de proteína bruta dos resíduos nos tempos de fermentação, $C_L = 1\%$ e $T = 30\text{ }^\circ\text{C}$ .....	67
Tabela 5.2.	Valores dos teores de proteína bruta dos resíduos nos tempos de fermentação, $C_L = 5\%$ e $T = 30\text{ }^\circ\text{C}$ .....	69
Tabela 5.3.	Valores dos teores de proteína bruta dos resíduos nos tempos de fermentação, $C_L = 1\%$ e $T = 38\text{ }^\circ\text{C}$ .....	70
Tabela 5.4.	Valores dos teores de proteína bruta dos resíduos nos tempos de fermentação, $C_L = 5\%$ e $T = 38\text{ }^\circ\text{C}$ .....	70
Tabela 5.5.	Valores dos teores de proteína bruta dos resíduos nos tempos de fermentação, $C_L = 3\%$ e $T = 34\text{ }^\circ\text{C}$ .....	72
Tabela 6.1.	Matriz do planejamento fatorial mais configuração estrela e os resultados das respostas para casca de abacaxi.....	74
Tabela 6.2.	Resultados da ANOVA para proteína bruta (PB) da casca de abacaxi.....	76
Tabela 6.3.	Resultados da ANOVA para o aumento protéico (AP) da casca de abacaxi.....	77
Tabela 6.4.	Matriz do planejamento fatorial mais configuração estrela	

	e os resultados das respostas para coroa de abacaxi.....	78
Tabela 6.5.	Resultados da ANOVA para proteína bruta (PB) da coroa de abacaxi.....	80
Tabela 6.6.	Resultados da ANOVA para o aumento protéico (AP) da coroa de abacaxi.....	80
Tabela 6.7.	Matriz do planejamento fatorial mais configuração estrela e os resultados das respostas casca de maracujá.....	81
Tabela 6.8.	Resultados da ANOVA para proteína bruta (PB) da casca de maracujá.....	84
Tabela 6.9.	Resultados da ANOVA para o aumento protéico (AP) da casca de maracujá.....	84
Tabela 6.10.	Modelos da regressão codificado para as variáveis de respostas de proteína bruta (PB) e aumento protéico (AP) após o enriquecimento protéico.....	85
Tabela 6.11.	Síntese com as variáveis de entrada que maximizam as respostas.....	90
Tabela 7.1.	Caracterização do resíduo Caa com os valores otimizados: $C_L = 3\%$ e $T = 34\text{ }^{\circ}\text{C}$ .....	93
Tabela 7.2.	Caracterização do resíduo Coa com os valores otimizados: $C_L = 5,8\%$ e $T = 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ .....	95
Tabela 7.3.	Caracterização do resíduo CaM com os valores otimizados: $C_L = 3\%$ e $T = 34\text{ }^{\circ}\text{C}$ .....	98
Tabela 7.4.	Caracterização químico-bromatológica dos três resíduos otimizados.....	101
Tabela 7.5.	Caracterização dos três resíduos otimizados.....	102



## Lista de Símbolos

APB – Aumento do Percentual de Proteína Bruta  
APV – Aumento do Percentual de Proteína Verdadeira  
A, b e K – Parâmetros de ajustes  
 $a_w$  – Atividade de água  
bu – Base Úmida  
C – Constante de BET  
 $C_L$  – Concentração de Levedura  
 $C_{GAB}$  – Constante de GAB  
 $C_Z$  – Cinzas  
DIVMS<sub>in vitro</sub> – Digestibilidade “in vitro” da matéria seca  
EB – Energia Bruta  
EE – Extrato Etéreo  
ENN – Extrato Não Nitrogenado  
f – Fator da solução  
FSS – Fermentação Semi-Sólida  
FSm – Fermentação Submersa  
FDN – Fibra em Detergente Neutro  
FDA – Fibra em Detergente Ácido  
HC – Hemicelulose  
K – Constante de GAB  
 $m_e$  – Massa da amostra no equilíbrio  
 $m_s$  – Massa seca da amostra  
MM – Matéria Mineral  
MO – Matéria Orgânica  
MS – Matéria Seca  
n – Número de camadas moleculares  
NDT – Nitrogênio Digestível Total  
P – Massa da amostra usada na titulação  
PB – Proteína Bruta  
 $P_{amostra}$  – Massa da amostra

$P_{\text{cinza}}$  – Massa da amostra incinerada

$P_{\text{úmida}}$  – Massa da amostra úmida

$P_{\text{seca}}$  – Massa da amostra seca

PV – Proteína Verdadeira

SCP – (Single cell protein) Proteína de microrganismos unicelulares

Ton – Tonelada

Ue – Umidade de equilíbrio relativa

V – Volume da solução

X – umidade

Xeq (b.s.) – Umidade de equilíbrio em base seca

X eq (b.u.) – Umidade de equilíbrio em base úmida

Xeq – Umidade de equilíbrio

Xm – Umidade na monocamada molecular

## **Lista de Abreviaturas**

AOAC – Association Official Analytical Chemists

a.C. – Antes de Cristo

BET – BRUNAUER – EMMER - TELLER

CCA – Centro de Ciências Agrárias

CCT – Centro de Ciências e Tecnologia

CRLS – Coordenação Regional de Lagoa Seca

CSTR – Centro de Saúde e Tecnologia Rural

DZ – Departamento de Zootecnia

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EMEPA – Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba

GAB – Guggenheim, Anderson e de Bôer.

IBGE – Instituto Brasileiro Geográfico e Estatístico

IPA – Instituto de Pesquisa Agropecuária

LEQ – Laboratório de Engenharia Química

LAA – Laboratório de Análises de Alimentos

LNAA – Laboratório de Nutrição e Alimentação Animal

NRC – National Research Council

UAEEAg – Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola

UAEEQ – Unidade Acadêmica de Engenharia Química

UFCG – Universidade Federal de Campina Grande

UFPB – Universidade Federal da Paraíba

UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas

USP – Universidade de São Paulo

## Capítulo 1 - Introdução

Na região semi-árida do Nordeste, atualmente, existe uma grande necessidade de aumentar a produtividade pecuária de carne e leite diante da crescente demanda de alimentos pela população. Apesar da importância da pecuária no contexto sócio-econômico dessa região, esta atividade ainda se desenvolve, na maior parte, de forma extensiva, apresentando baixos níveis tecnológicos, que se refletem na produtividade do setor, que, na época de escassez de alimentos, caracteriza-se por rebanhos pequenos, com baixa produção de carne e leite por animal, mas, mesmo assim, constitui-se ainda na principal fonte de renda da maioria dos produtores do Nordeste.

A alimentação racional dos ruminantes visa fornecer os nutrientes capazes de manter e assegurar as exigências de manutenção e o nível de produção pretendido. O sucesso da qualidade da carne e a exploração leiteira lucrativa se tornam possíveis, quando se trabalha com as condições alimentares adequadas, que permitem altas produções a custos mais econômicos. Isto se torna possível, principalmente, por intermédio de um manejo nutricional, reprodutivo e sanitário adequado (MOREIRA *et al.*, 2006).

Segundo ZOMETA *et al.* (1985), os animais conseguem se alimentar adequadamente na época chuvosa, mas na seca a procura por alimentos, tanto na caatinga quanto em outros tipos de pastagem nativa é muito alta e os animais só conseguem sobreviver perdendo peso corporal. Porém, o ciclo de vida produtivo recupera-se um pouco na época seguinte, embora os animais destinados ao abate alcancem o peso desejado à idade adequada, mas mesmo assim a qualidade da carcaça fica comprometida e reduz a eficiência alimentar (CUNHA e SOUSA, 2004).

Para BANDEIRA (1995) de acordo com as pesquisas e informações sobre fontes alternativas de restos de cultura agrícola e de subprodutos da industrialização de frutas são aproveitados na alimentação animal nas regiões mais desenvolvidas; já nas menos desenvolvidas, estes resíduos deixam de ser aproveitados. Em países desenvolvidos, a produção agropecuária se caracteriza com baixos custos operacionais, porque as utilizações de restos de culturas e de

resíduos agroindustriais são alternativas na alimentação animal e ainda contribuem para minimizar os problemas de poluição.

Neste trabalho, as vantagens da produção de proteínas microbianas sobre os resíduos agroindustriais são levantadas com base nas seguintes considerações: (a) o tempo de geração dos microrganismos que é bastante curto, o que propicia um rápido aumento de massa celular; (b) o conteúdo de proteína dos microrganismos é geralmente mais elevado que a maioria dos vegetais; (c) sua produção independente é mais acessível; (d) exige pequena disponibilidade de água e espaço além da diversificação de substratos utilizáveis e principalmente os resíduos agroindustriais, contribuindo para minimizar os problemas de perdas na industrialização das frutas tropicais.

## **1. Justificativa**

O Brasil é um dos principais produtores mundiais de abacaxi com uma produção de 3,1 milhões de ton/ano (TODA FRUTA, 2005) e de maracujá, com uma produção de aproximadamente 479 mil ton/ano (SINIMBU, 2004), gera uma grande quantidade de resíduos. Como vários outros resíduos, a quantidade de resíduos de maracujá já demonstrou ser um sério problema para as indústrias de suco em geral (BURGI, 1992).

No Estado da Paraíba, as bacias de cortes e leiteiras estão em expansão, constituindo-se em fontes de renda e de alimentos para os criadores da região.

Com a utilização de novas técnicas geradas ou adaptadas para as condições da região, através dos resíduos agroindustriais do abacaxi (casca e coroa) e maracujá (casca), enriquecidos com os fungos *Saccharomyces cerevisiae*, pode-se produzir uma fonte alimentar de proteínas, vitaminas, energia e minerais na alimentação animal.

A utilização destes resíduos foi fundamentada em dois pontos: a grande produção do abacaxi e maracujá e também o início da colheita dos mesmos coincide com o fim das pastagens, período crítico da falta de alimento para os animais, que, na região semi-árida, se inicia de julho indo até fevereiro.

O Projeto Fome Zero do Governo Federal em parceria com a EMEPA distribuíram cerca de 200 mil mudas de abacaxi, caju, goiaba e maracujá com os pequenos e médios produtores na Paraíba (EMEPA, 2004). A Paraíba é o segundo maior produtor do Brasil no cultivo do abacaxi (TODA FRUTA, 2005) segundo dados do IBGE, que abrange uma área de aproximadamente 34 mil hectares de abacaxizeiros (*Ananas comosus* L. MER) produzindo aproximadamente 539 mil toneladas de frutos, resultando em uma quantidade considerável de resíduos, mas que não são aproveitados, principalmente no arraçamento de ruminantes, (PRODUÇÃO VEGETAL, 1990). Este estudo propõe-se como agente de mudança, definindo suas ações no campo da pesquisa na alimentação alternativa nutricional para animais, de modo a realizar o aproveitamento destes resíduos enriquecidos com a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, de uma maneira economicamente viável para os pequenos e médios produtores.

Com a preocupação de contribuir para o desenvolvimento sustentável da região Semi-árida não irrigável, pesquisadores vêm se empenhando para dar contribuições em trabalhos científicos, no sentido de desenvolver alimentos alternativos, buscando fontes de enriquecidos protéicos “não convencionais” para os animais. Destacam-se os que se referem ao desenvolvimento de microrganismos com alto índice de proteínas (ARAÚJO, 2004). No Laboratório de Engenharia Bioquímica do CCT/UFCG, ARAÚJO *et al.* (2003), trabalharam com processo de enriquecimento protéico (Bioconversão) de substratos como a palma forrageira (*Opuntia fícus-indica* Mill) e mandacaru-sem-espinho (*Cereus Jamacaru* P.D.C) e CAMPOS *et al.* (2003) com o enriquecimento protéico do bagaço de caju (*Anacardium occidentale* L.). Estes estudos visam procurar alternativas de fontes “não convencionais” de suplemento nutricional para a substituição de fontes convencionais como o farelo de soja, de trigo e outros.

Com o aproveitamento desses resíduos (casca e coroa de abacaxi e casca de maracujá) apresentam-se alternativas na alimentação animal, produzindo bioprodutos como suplemento nutricional (protéico, vitamínico, energético e

mineral) e ainda contribuem para minimizarem os problemas de poluição ambiental.

### **1.1. Objetivo geral**

Este trabalho foi realizado com o objetivo geral de estudar o enriquecimento nutricional dos resíduos do abacaxi (casca e coroa) e do maracujá (casca) utilizando-se a levedura *Saccharomyces cerevisiae* para produção de suplemento nutricional (vitamínico, protéico, mineral e energético), através do processo de fermentação semi-sólida.

#### **1.1.1. Objetivos específicos**

- Caracterizar física e físico-quimicamente os resíduos casca e coroa de abacaxi e casca de maracujá – *in natura*.
- Levantamento das isotermas de dessorção dos resíduos nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C.
- Verificação dos efeitos das variáveis (temperatura e concentração de levedura) sobre a cinética fermentativa.
- Estudo da cinética de bioconversão dos resíduos (casca e coroa de abacaxi e casca de maracujá) para produção de suplemento nutricional, tendo como variável resposta, o percentual de proteína bruta.
- Estudo da caracterização nutricional dos três resíduos com os valores otimizados.

## Capítulo 2 - Revisão de Literatura

### 2.1. Substrato

Segundo CAMPOS *et al.* (2003), dependendo do processo que se quer realizar, da facilidade de se obter determinadas matérias-primas ou dos resultados que se deseja conseguir, o substrato pode ser usado tanto na forma natural como na forma sintética. Os materiais utilizados são provenientes de matérias-primas, produtos e/ou resíduos agroindustriais, que normalmente têm baixo ou nenhum valor comercial.

Segundo SCHIMIDELL *et al.* (2001), o substrato deve possuir características que possibilitem um maior rendimento do processo. A principal peculiaridade é o alto grau de acessibilidade do microrganismo a todo o meio, devendo-se levar em conta a porosidade, o tamanho e o formato das partículas.

Diversas matérias-primas e, dentre estas, principalmente diversos tipos de resíduos agroindustriais podem ser empregados na fermentação semi-sólida. A escolha de cada meio, logicamente, irá depender do produto final que se deseja obter: torta de soja (CAPRA *et al.*, 2003), resíduo fibroso de soja (STREIT *et al.*, 2003b), casca de limão Taiti (PANAROTTO *et al.*, 2003), bagaço de laranja e farelo de arroz (HERMANN *et al.*, 2003), bagaço de maçã (STREIT *et al.*, 2003a; ALBUQUERQUE *et al.*, 2003), bagaço de pedúnculo de caju (HOLANDA *et al.*, 1997), bagaço de abacaxi (SHUET, 1999), borra de café (RAINHO *et al.*, 2003).

#### 2.1.1. Abacaxi e seus resíduos

O abacaxizeiro pertence à família das bromeliáceas; sub-classe das monocotiledôneas, gênero *Ananas*, espécie *Ananas comosus* L. Mer. (PY *et al.*, 1984; CHOAIRY, 1992).

Na Paraíba, dentre as cultivares predominantemente exploradas e de maior aceitação tanto pelo mercado interno como pelas indústrias de suco e de polpa integral para exportação, encontram-se as cultivares Pérola, Jupi e Smoth Cayenne (EMEPA, 1989).

O principal produto do abacaxizeiro é seu fruto, cujo valor nutritivo para alimentação humana está relacionado com a composição química, que encerra



apreciáveis quantidades de carboidratos, proteínas, água, sais minerais e vitaminas (BRAGA, 1976).

PY *et al.* (1984) enumeram outros produtos extraíveis do abacaxizeiro, na maioria deles, resultantes de processos fermentativos como o vinagre, champanhe e vinho, dentre os quais ainda se destaca a bromelina, uma enzima proteolítica de valor comercial elevado nas indústrias de bebidas, frigorífica e farmacêutica.

A EMEPA (1989) e CHOAIKY (1992) informam que os subprodutos da industrialização do abacaxi podem ser utilizados na alimentação animal na forma natural (fresca) ou ensilado, podendo ainda ser utilizadas as coroas e restos de cultura após trituração em máquinas forrageiras.

O Quadro 2.1 apresenta a comparação das composições químico-bromatológica de resíduos de abacaxi de vários autores da literatura.

**Quadro 2.1.** Composição químico-bromatológica de resíduos do abacaxi

Análises	COMPAAN e BISHOP (1968)	SATAPATHY (1978)	UCHIDA <i>et al.</i> (1980)	GHOSH <i>et al.</i> (1989)	RODRIGUES e PEIXOTO (1990a,b)
MS (%)	14,10	-	84,10	-	90,23
EE (%)	0,35	2,00	1,14	5,48	2,30
FB (%)	3,77	18,00	15,90	25,32	34,02
PB (%)	0,87	0,30	5,56	6,81	3,95
MM (%)	1,11	0,03	3,87	3,00	5,61
ENN* (%)	8,00	-	57,56	59,34	-

COMPAAN e BISHOP (1968) avaliaram a composição química bromatológica da ensilagem dos resíduos agroindustriais do abacaxi, composta por casca externa e miolo central da fruta. Constatam, ainda que durante a ensilagem, ocorre um prejuízo de 31,00% e 48,00% do material quando se utiliza ou não a prensagem, respectivamente.

SATAPATHY (1978), na Índia, estudou os resíduos industriais frescos de abacaxi.

UCHIDA *et al.* (1980) trabalharam com o farelo da casca de abacaxi.

GHOSH *et al.* (1989), determinaram a composição da coroa do abacaxi na matéria seca.

No Brasil, RODRIGUES e PEIXOTO (1990a,b) avaliaram a composição química, digestibilidade, balanço de nitrogênio e concentração da energia digestível do resíduo da indústria de conservas de abacaxi, compostos por frutos descartáveis, coroa, miolo e casca, na matéria verde e ensilada. RECH *et al.* (1990; 1991), trabalhando com ensilagem do resíduo de abacaxi (SRA), na alimentação de suínos, registram valores semelhantes.

PAL *et al.* (1984) verificaram os efeitos das condições de armazenagem do resíduo de abacaxi sobre a composição de seu farelo e concluíram que estas não podem ser estocadas ainda verde por mais de três dias em regime aberto ou fechado, sob temperaturas 20 à 40 °C.

### **2.1.2. Maracujá e seu resíduo**

O Brasil é um dos principais produtores mundiais de maracujá, com produção de aproximadamente 479 mil ton/ano (SINIMBU, 2004). Como vários outros resíduos, a quantidade de resíduos de maracujá já demonstrou ser um sério problema para as indústrias de suco em geral (BURGI, 1992; LIMA *et al.* (1994).

Segundo PRUTHI (1963), a casca do maracujá é composta predominantemente de um tecido esponjoso, facilmente desidratável. Aproximadamente 1/3 do peso da fruta é suco, sendo o restante composto de 90% de casca e 10% de semente. A matéria seca representa cerca de 17% da casca original, possuindo 20% de pectina.

Pesquisas científicas têm demonstrado a viabilidade do uso da casca do maracujá, resíduo da indústria de suco. O óleo da semente na alimentação animal pode elevar o valor calórico da dieta. As sementes produzem um óleo leve e claro, de boa qualidade, o qual é caracterizado por alto conteúdo do ácido graxo linoléico (BERTIPAGLIA, 1997a).

ARIKI e TRAVAGLINI (1977) utilizaram 8% de sementes de maracujá na matéria seca da ração de frangos de corte e não observaram decréscimo no ganho de peso e conservação alimentar. A possibilidade de uso da semente de maracujá na alimentação de ruminantes foi estudada por MOREIRA (1980). Através da determinação da digestibilidade de rações para ovinos, foi detectado

que o nível crescente de sementes de maracujá causou decréscimo na digestibilidade da matéria seca, de fibra bruta e dos extrativos não nitrogenados, e demonstrou aumento na digestibilidade de proteína e extrato etéreo. O conteúdo de nutrientes digestíveis totais foi de 64,88%.

A utilização de semente de maracujá como alimento para ruminantes é limitado, devido ao teor de extrato etéreo (32%), ocorrendo depressão na digestibilidade dos componentes fibrosos da dieta, neutralizando o aumento da densidade energética através do óleo da semente. O maior consumo voluntário ocorreu com 8,8% de sementes de maracujá (STARLING *et al.*, 1996).

O Quadro 2.2 mostra a comparação das composições químico-bromatológica de resíduos de maracujá de vários autores da literatura.

**Quadro 2.2.** Composição químico-bromatológica de resíduos do maracujá

Análises	BUTOLO (1993)	PONTES <i>et al.</i> (1989)	PRUTHI (1963)
MS (%)	38,79		
EE (%)	21,60	6,70	0,08
FB (%)	45,58	57,90	60,90
PB (%)	12,40	14,52	12,30
MM (%)	3,55	1,36	1,76

BUTOLO (1993) trabalhou na composição bromatológica de semente de maracujá. O alto teor de gorduras presente no material impede o consumo maior voluntário por ruminantes (1 Kg semente/cab/dia), tornando-se assim, necessária a extração do óleo.

Segundo PONTES *et al.* (1989), em estudo realizado com óleo de maracujá amarelo, constatou que há uma predominância de ácidos insaturados, que são: ácido oléico (17,5%) e ácido linoleico (68,7%). Eles realizaram também a composição químico-bromatológica da torta de semente de maracujá amarelo e constatou que os valores da composição encontrado difere dos valores obtido por PRUTHI (1963) que trabalhou com a torta de semente de maracujá roxo.

No Quadro 2.3 são apresentados dados da literatura para composição bromatológica de sementes e torta de maracujá roxo e amarelo encontrados por alguns autores em 4 diferentes países. Através dos dados notam-se algumas diferenças de composição.

**Quadro 2.3.** Composição químico-bromatológica de sementes e torta de maracujá roxo e amarelo, encontrados na literatura

Análises	Sementes			Torta			
	Maracujá roxo	Maracujá roxo	Maracujá amarelo	Maracujá amarelo	Maracujá roxo	Maracujá roxo	Maracujá amarelo
	Havaí(a)	Índia(a)	Brasil(b)	Brasil(c)	Índia(a)	Quênia(a)	Brasil (d)
<b>Ubu (%)</b>	-	4,39	-	-	9,80	11,00	4,03
<b>MS (%)</b>	-	-	88,39	38,79	-	-	-
<b>EE (%)</b>	8,32	23,85	4,62	21,61	0,08	0,1	6,70
<b>FB (%)</b>	59,20	53,72	49,35	42,58	60,90	56,00	57,70
<b>PB (%)</b>	12,70	11,13	9,56	12,40	12,30	12,10	14,52
<b>MM (%)</b>	1,92	1,84	1,26	3,55	1,76	1,60	1,36
<b>Ca (%)</b>	0,03	0,08	-	-	-	-	0,01
<b>P (%)</b>	0,06	0,64	-	-	-	-	0,06
<b>ENN* (%)</b>	-	-	23,58	-	-	-	15,49

Fonte: (a) PRUTHI (1963); (b) ARIKI e TRAVAGLINI (1977); (c) BUTOLO (1993); (d) PONTES et al. (1989).

VIEIRA *et al.* (1996; 1999) determinaram a composição bromatológica da casca da fruta do maracujá (resíduo) de três variedades, quanto à MS, PB, fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), cálcio (Ca) e fósforo (P). Os resultados demonstraram que o maracujá roxo foi o que apresentou maior percentagem de MS de 17,57% e o amarelo apresentou a menor, 11,21%. Para a PB houve diferença entre as variedades amarela (9,82%) e doce (7,53%). Quanto à FDN, FDA e Ca não houve diferença entre as variedades obtendo-se valores na faixa de 37,69 – 44,16% (FDN); 30,06 – 35,85% (FDA); e 0,28 – 0,35% (Ca); já o conteúdo de P variou em 0,13% para variedade doce e 0,08% para a variedade amarelo (Quadro 2.4). Os autores citam que a variabilidade entre os dados obtidos e os da literatura, pode ser atribuída às diferenças de adubação nitrogenada.

**Quadro 2.4.** Composição químico-bromatológica da casca de três variedades de maracujá

Análises	Variedades			
	Amarelo (a)	Roxo (r)	Mistura ( a x r)	Doce (d)
MS (%)	10,78	17,01	13,81	12,07
PB (% MS)	9,82	8,56	9,24	7,53
Ca (% MS)	0,35	0,34	0,28	0,33
P (% MS)	0,08	0,09	0,08	0,13
FDN (% MS)	44,16	43,75	37,69	39,07
FDA (% MS)	35,85	35,06	30,06	31,10
EB (Cal/g MS)	3.706,14	3.582,45	3.833,13	3.658,63

Fonte: VIEIRA et al. (1999)

OTAGAKI e MATSUMOTO (1958), num experimento para avaliar a produção de leite, eficiência alimentar e digestibilidade da casca e semente de maracujá amarelo, chegaram a resultados satisfatórios na produção de leite e persistência da lactação de vacas alimentadas com resíduos do maracujá desidratado (50% da ração), capim elefante e concentrado, comparado com o bagaço de abacaxi. A casca do maracujá desidratado apresentou coeficientes de digestibilidade para a PB = 45,23%, EE = 6,38%, FB = 76,42% e de (nutrientes digestíveis total) NDT = 60,70%, além de ser um alimento altamente palatável. A digestibilidade aparente de proteína da casca do maracujá é aproximadamente três vezes maior que a do abacaxi. Segundo os autores, a utilização da casca do maracujá na alimentação de bovinos é uma excelente possibilidade para o escoamento do subproduto industrial, porém devem ser realizados mais estudos sobre o custo de desidratação da casca.

VIEIRA *et al.* (1997), em estudo da degradabilidade de três variedades de maracujá, também concordam com a viabilidade da utilização do resíduo de maracujá, tendo observado que a degradabilidade potencial de todas as variedades atingiram o seu ápice até 24 h. No entanto apesar de representar uma boa fonte de nutrientes para ruminantes, trata-se de um alimento de caráter regional, devendo seu custo ser elevado em consideração (SIQUEIRA *et al.*, 1998).

PONTES *et al.* (1988) estudaram os efeitos do período de armazenamento sobre a composição bromatológica do resíduo de maracujá amarelo (farinha de casca) e obtiveram uma boa qualidade do material durante o período de 90 dias de armazenamento.

No Quadro 2.5 são apresentados alguns dados de composição bromatológica da casca do maracujá roxo e amarelo.

**Quadro 2.5.** Composição químico-bromatológica da casca de duas variedades de maracujá (roxo e amarelo), apresentada por diversos autores

Análises	Maracujá roxo (matéria fresca)			Maracujá amarelo (matéria seca)*		
	Índia (a)			Havaí	Brasil	
	Máxima(%)	Média(%)	Mínima(%)	(b) (%)	(c)** (%)	(d) (%)
Ubu	85,24	81,92	78,43	16,80	1,61-6,20	17,66
EE	0,16	0,12	0,05	0,33	2,40-2,21	2,43
FB	7,17	5,01	4,57	25,66	22,66-20,16	29,37
Pectina	2,47	1,78	1,54	20,00	-	-
PB	2,84	2,56	2,04	4,58	10,64-9,09	8,70
MM	1,94	1,47	1,32	6,76	6,49-6,24	7,75
Ca	0,07	0,05	0,03	-	0,0208-0,021	-
P	0,06	0,04	0,03	-	0,027-0,026	-
ENN	-	-	-	45,87	55,26-50,52	34,09

\*Material desidratado; \*\*Faixa de composição bromatológica no período de 0 a 90 dias de armazenamento.

Fonte: ( a ) PRUTHI (1963); ( b ) OTAGAKI e MATSUMOTO (1958); ( c ) PONTES *et al.* (1988); ARIKI *et al.* (1977).

REIS (1994), em experimento com a silagem do resíduo de maracujá, encontrou teores de MS = 18,99%, PB = 10,47%, FDN = 60,32% e FDA = 50,95%, com base na matéria seca. A silagem do resíduo de maracujá e sua associação com capim elefante “cameroon” e a silagem elefante “cameroon” enriquecida com farelo de trigo e algodão foram avaliadas através de sua composição química e digestibilidade por REIS *et al.* (1993). As digestibilidades da matéria seca não diferiram entre as silagens, concluindo-se que constituiria uma alternativa viável para alimentação de ruminantes.

SANTOS (1995) em estudo do valor nutritivo de silagem de resíduo de maracujá e silagens mistas (maracujá + casca de café, maracujá + bagaço de cana, e maracujá + palha de feijão) apresentou dados importantes relacionados a MS das silagens analisadas (20,09–26,53%), em que nenhuma delas apresentava o teor recomendado para uma boa silagem, que é de 30 a 35% MS. Apesar deste fato, o autor apresentou valores de pH (3,4–3,6), nitrogênio amoniacal (7,31–10,31%) e ácidos orgânicos (ác. láctico 0,75–1,16  $\mu$ moles/100mL; ac. acético 0,55 – 1,02  $\mu$ moles/100 mL e ac. propiônico 0,03  $\mu$ moles/100 mL) dentro dos níveis normais que preconizam uma silagem de boa qualidade.

KORNDORFER *et al.* (1998) estudaram os efeitos do armazenamento sobre a composição bromatológica do resíduo de maracujá (casca, polpa e semente).

Os autores concluíram que o teor de PB do resíduo de maracujá, da ordem 150 g/Kg de MS, incentiva o seu uso na suplementação baixa (368 g/Kg MS). O resíduo deve ser mantido sob condições de anaeobiose para manter sua qualidade e possibilidade de uso prolongado; e o material pré seco apresentou uma pequena variação na composição química final.

No Quadro 2.6 são apresentados alguns dados de composição bromatológica do resíduo *in natura* e da silagem de maracujá amarelo.

**Quadro 2.6.** Composição químico-bromatológica do resíduo *in natura* e da silagem de maracujá amarelo encontrados na literatura

Análises	<i>in natura</i>			Silagem		
	( a )	( b )	( c )	( a )	( b )	( c )
MS (%)	15,07	24,70	19,00	21,97	23,30	18,99
PB (%)	13,40	15,30	10,50	14,30	16,80	10,47
EE (%)	6,51	-	-	12,14	-	12,49
FDN (%)	52,72	50,00	59,50	60,77	54,40	60,32
FDA (%)	48,75	-	52,37	58,56	-	50,95
LIG. (%)	-	14,80	-	-	18,00	-
Ca (%)	0,19	-	-	0,25	-	0,14
P (%)	0,13	-	-	0,15	-	0,13
EB (%)	4324,09	-	-	5004,58	-	4648,62
ED (%)	-	-	-	2799,25	-	3212,19
pH	-	4,1	3,9	3,6	4,2	4,09

Fonte: ( a ) SANTOS (1995); ( b ) KORNDORFER *et al.* (1998); (c) REIS (1994).

Segundo trabalho desenvolvido por BERTIPAGLIA *et al.* (1997b), a silagem do resíduo da indústria de suco de maracujá para ruminantes mostrou ser viável para a utilização pela sua degradação ser semelhante às das silagens de milho grânifero, tendendo à ligeira superioridade, mas com baixa de degradação da FDA muito superior.

## 2.2. Microrganismo

Segundo PANDEY (1992), tanto microrganismos em seu estado natural como na forma de culturas puras individuais ou mistas podem ser utilizados no processo da fermentação semi-sólida.

Muitos microrganismos são capazes de crescer em substrato sólido, mas só os fungos filamentosos podem crescer significativamente na ausência de água livre. Bactérias e fermentos crescem em substrato sólido com um teor de umidade

entre 40–70%, como na compostagem ou na ensilagem aeróbica ou anaeróbica, mas o crescimento e propagação das células ricas em proteínas sempre requerem água livre (RAGHAVARAO *et al.*, 2003).

Para um melhor desempenho do processo fermentativo, a escolha da linhagem do microrganismo deve levar em conta detalhes deste processo, como meio de cultura e condições ambientais da fermentação (temperatura e umidade do sistema), pois a FSS (fermentação semi-sólida) tem obtido sucesso em vários tipos de transformações, seja ela por fungos ou bactérias.

Como exemplos, para a obtenção do enriquecimento protéico, podem ser citados, dentre muitos outros, o uso de culturas como *Rhizopus* (SUHET, 1999; MORAES, 1999; ALBUQUERQUE *et al.*, 2003), *Candida* (CANOILAS, 1991), *Aspergillus* (MORAES, 1999) e *Saccharomyces* (HOLANDA *et al.*, 1997; CAMPOS *et al.*, 2003; ARAÚJO *et al.*, 2003).

### **2.2.1. Levedura**

As leveduras são empregadas com alta freqüência, na obtenção de produtos de consumo diários, entre eles o pão e as bebidas alcoólicas. Segundo PELCZAR *et al.* (1980), os critérios utilizados na descrição e identificação das leveduras são as características morfológicas, culturais, fisiológicas e tipo de reprodução.

Caracterizam-se por apresentarem alta resistência em condições ambiente, pH, presença de sais e temperatura de até, aproximadamente, 35 °C. Têm alta taxa de reprodução, podendo se reproduzir sexuadamente formando esporos, ou por reprodução assexuada, envolvendo brotamento, gemulação ou fissão binária (LODDER, 1971).

As características que tornam os microrganismos interessantes, incluindo a levedura, como produtores de proteínas, segundo KILBERG (1972) são:

- Rápida multiplicação;
- Capacidade de desenvolvimento em substrato de custo acessível;
- Facilidade de obtenção;
- Utilização de nutrientes em suas formas mais simples;
- Produção independente de fatores ambientais e climáticos; e



- Formação de produtos de elevado valor nutritivo.

#### **2.2.1.1. Composição química da levedura**

A composição química e o valor nutritivo da levedura dependem de uma série de fatores, destacando-se a natureza do substrato, grau de aeração do meio, espécie de levedura, tratamento da massa fluida e concentração de sais (KRIDER et al., 1982). Dentre estes, o substrato utilizado parece ser o mais importante, uma vez que deve apresentar nutriente requerido pelas leveduras em formas assimiláveis e em quantidades suficientes, afetando a taxa de crescimento e a composição, principalmente em proteínas e lipídeos (HSU, 1961; VANANUVAT e KINSSELA, 1975).

De acordo com SALGADO (1976), o número de lavagens no processo de produção pode determinar alterações significativas na composição química da levedura. Utilizando quatro lavagens, pode-se aumentar o teor de proteína bruta de 33 para 42%, mas isso provoca perdas de matéria seca, proteína e matéria mineral. Portanto, as lavagens concentram proteína pela eliminação de impurezas.

Para LAHR FILHO *et al.* (1996), a composição química da levedura de fermentação alcoólica pode ser alterada por um processo de estarvação. Na estarvação, o leite de levedura é mantido a uma temperatura de 37 °C, com agitação constante e em ausência de fonte de energia. Nessas condições, as substâncias de reserva e, fundamentalmente, os carboidratos acumulados durante a fermentação alcoólica são metabolizados, liberando energia para as atividades biológicas da célula formando o etanol.

O Quadro 2.7 apresenta a composição bromatológica da levedura de cana-de-açúcar e levedura de cerveja com base na matéria natural. A composição em aminoácidos das leveduras é balanceada, destacando-se teor elevado de lisina, leucina e treonina (Quadro 2.8). A composição dos aminoácidos presentes na proteína de levedura pode ser utilizada como um padrão para avaliação do valor nutricional das proteínas em vegetais. A proteína é considerada de boa qualidade quando sua composição em aminoácidos essenciais se apresenta em quantidade adequada e equilibrada, de modo a aproximar-se dos valores recomendados pelo

padrão de referência da FAO (1985). Além disso, a palatabilidade da levedura tem de se constituir em um atrativo (BHATTACHARJE, 1970).

**Quadro 2.7.** Composição químico-bromatológica da levedura de cana-de-açúcar e levedura de cerveja com base na matéria *in natura*

Composição (%)	Levedura	
	Cana-de-açúcar	Cerveja
Matéria seca (MS)	92,49	92,76
Proteína bruta (PB)	43,12	41,50
Fibra bruta (FB)	0,85	0,27
Extrato etéreo (EE)	1,80	0,17
Matéria mineral (MM)	3,92	3,78

Fonte: Butolo *et al.* (1999).

**Quadro 2.8.** Composição em aminoácidos da levedura de cana-de-açúcar e levedura de cerveja com base na matéria *in natura*

Composição (%)	Levedura	
	Cana-de-açúcar	Cerveja
Arginina	1,99	2,19
Glicina	1,90	1,83
Isoleucina	1,91	2,10
Leucina	3,17	3,28
Lisina	3,44	3,47
Cistina	0,49	0,66
Metionina	0,77	0,71
Fenilalanina	1,77	2,07
Tirosina	1,21	1,14
Treonina	2,60	2,22
Triptofano	0,44	0,53
Valina	2,37	2,50
Histidina	1,00	1,03

Fonte: Butolo *et al.* (1999).

Os carboidratos representam de 45 a 55% da massa da levedura, sendo compostos em média por 33% de trealose, 27% de glucanas, 21% de mananas e 12% de glicogênio (ROSE e HARRISON, 1970).

Como substâncias de reserva, as leveduras acumulam trealose, glicogênio e lipídeos. Nas leveduras, destacam-se os componentes da parede celular: glicana, manana e quitina (ÂNGELI e THOMAZINI, 1980).

BUTOLO (1997) afirma que, embora sejam consideradas como fonte de proteínas, as leveduras podem ser utilizadas como suplemento vitamínico, como fonte de metabólitos não identificados com ação promotor a crescimento e promotor de reequilíbrio da microflora intestinal. O Quadro 2.9 mostra as vitaminas do complexo B existentes na levedura *Saccharomyces cerevisiae*.

**Quadro 2.9.** Composição em vitaminas do complexo B existentes na levedura *Saccharomyces cerevisiae*

Vitamina	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )
Tiamina	136,0
Riboflavina	28,0
Ácido nicotínico	525,0
Piridoxina	40,0
Ácido pantotênico	69,5
Ácido fólico	3,5
Biotina	1,0
Ácido para-aminobenzóico	5,0
Colina	3.800,0
Inositol	3.900,0

Fonte: Pelczar *et al.* (1980).

#### 2.2.1.2. Importância econômica da levedura

O Brasil, sendo um grande produtor de açúcar e de álcool de cana-de-açúcar, possui um alto potencial de produção de levedura, que pode ser recuperada em destilarias e cultivada em melaço ou caldo de cana para enriquecimentos diversos visando rações específicas de animais, ou mesmo visando enriquecimento e, em paralelo, efeitos como biomediação e bioproteção como citados por BAPTISTA (2001).

As leveduras são, sem dúvida, o grupo de microrganismos comercialmente mais explorado, uma vez que muitas das suas propriedades biológicas apresentam aplicações industriais (ROSE e HARRISON, 1970).

Segundo DZIEDAK (1987), as leveduras estão recebendo maior atenção por parte dos pesquisadores devido aos benefícios nutricionais fornecidos ao homem. Sua utilização pode ser na forma de levedura seca, suplementando a alimentação humana e animal, ou enriquecendo os sabores de lanches, carnes e produtos derivados do leite.

A utilização da biomassa de levedura pode ser desde o aproveitamento integral, ou de apenas alguns componentes e, para isso, diferentes técnicas podem ser empregadas. Antigamente, recuperava-se o máximo de leveduras do gênero *Saccharomyces* da produção de bebidas fermentadas, principalmente cervejas, utilizando-se então, em panificação. Em 1968, Fleischmann iniciou a produção industrial da levedura prensada e contribuiu para a melhoria da bioquímica da fermentação e de técnicas de engenharia, auxiliando muito o desenvolvimento da moderna utilização de leveduras (HALASZ e LASZTITY, 1991).

A disponibilidade teórica de levedura após a fermentação, como excedente, é de 2 kg de levedura seca por hectolitro produzido, que estará disponível após sangria (DESMONTS, 1966). Foi estimado que na safra de 1996, cerca de 280.000 ton de leveduras poderiam ser obtidas para uso na alimentação humana e animal. Contudo, as tendências de mercado demonstraram uma previsão de produção de levedura, para a safra de 96/97, de apenas 16.000 ton, muito abaixo do potencial real (BUTOLO, 1996).

A biomassa microbiana utilizada com a finalidade de nutrição, é obtida de um processo o qual não é o objetivo principal da transformação e sim um subproduto da fermentação (HORII, 1997).

De acordo com FURCO, citado por CAMPOS *et al.* (2003), os principais compradores de leveduras no mercado interno são os grandes fabricantes de rações comerciais, principalmente os fabricantes de sal mineral, que utilizam levedura como palatilizantes e fonte de proteína; geralmente dirigem-se para rações de bovinos e essa, talvez, tenha sido a principal razão do pouco sucesso das leveduras como microingredientes de rações, uma vez que estas são destinadas a bovinos, têm preço de venda muito baixo e não têm elasticidade para absorver produtos de maior valor como seria o caso das leveduras. A tendência do mercado é continuar com os preços em alta. O mercado interno e externo tenderá a valorizar as leveduras que possam oferecer qualidade consistente ao longo do ano, ou seja, que apresentem variações mínimas de cor, palatabilidade e granulometria. Até o início da década de 90, 80% da levedura comercializada era

para ração de bovinos. A partir de 1995, passou a ser mais direcionada para rações de aves, suínos e aquicultura e a tendência é permanecer assim.

#### **2.2.1.3. *Saccharomyces cerevisiae***

As leveduras constituem um ramo menor dos fungos quanto ao número de espécie (350 espécies agrupadas em 39 gêneros). Entretanto, elas são muito importantes por sua atividade bioquímica. Algumas realizam fermentação utilizada desde as origens da civilização (fermentação alcoólica). Estas atividades têm aplicações industriais muito importantes (SCRIBAN *et al.*, 1982).

Conforme PANDEY citado por ARAÚJO (2004), em 2600 a.c., os egípcios já dominavam a tecnologia de fermentação de pães. Pasteur, há mais de um século, conseguiu caracterizar a individualidade da levedura como um organismo vivo com características próprias, decifrando sua atuação na transformação de açúcares. *Saccharomyces cerevisiae* foi a primeira levedura utilizada pelo homem e é a mais intensamente cultivada.

Segundo ROCHA citado por ARAÚJO (2004), a levedura *Saccharomyces cerevisiae* é o mais utilizado microrganismo na indústria. São organismos microscópicos de célula única, viva e têm as mesmas funções de qualquer outro ser vivo, respiram, alimentam-se, excretam, dentre outras funções vitais. As leveduras apresentam membrana celular bem definida, pouco espessa, em células jovens, rígidas em células adultas de constituição variável, com predominância de hidratos de carbono, e menor quantidade de proteínas e graxas. Geralmente a levedura se reproduz de forma assexuada chamada gemulação ou brotamento, também sendo chamada de reprodução vegetativa. É um processo em que a levedura duplica o material de seu interior e se divide em duas.

Segundo PARK e RAMIRES citado por ARAÚJO (2004), leveduras de panificação (*Saccharomyces cerevisiae*) são organismos atrativos para a produção comercial de proteína em virtude de fácil propagação fermentativa e de não terem relação patogênica com o homem. Tal produção de proteína é similar à dos organismos. A eficiência da conversão protéica por leveduras depende de

fatores como temperatura, suprimento de oxigênio e disponibilidade de nutrientes e o tempo médio para dobrar o teor de proteína, que é de 5 h em sistemas de fermentação por batelada.

Diversos produtos têm sido usados com sucesso para processamento protéico por fermentação microbiana: resíduos de batata-doce (YANG, 1988); bagaço de laranja (MENEZES *et al.*, 1989); resíduos de mandioca (CANOILAS, 1991; MANILAL *et al.*, 1991) e beterraba forrageira (GIBBONS e FELKER, 1984)

### **2.3. Fermentação semi-sólida (FSS)**

No Brasil, em nível industrial, o processo de fermentação submersa continua sendo o principal sistema de geração de produtos biotecnológicos, sendo insignificante o número de empresas que empregam a fermentação semi-sólida para estes fins (SCHIMIDELL *et al.*, 2001). Por ser uma técnica ainda não muito difundida, autores divergem quanto à definição do processo da fermentação semi-sólida. Por este motivo, serão apresentadas algumas das definições encontradas na literatura.

#### **2.3.1. Definições**

Fermentação em estado sólido, fermentação em substrato sólido, fermentação em meio semi-sólido ou simplesmente fermentação semi-sólida é o processo que se refere à cultura de microrganismos sobre ou dentro de partículas em matriz sólida (substrato ou material inerte), no qual o conteúdo de líquido (substrato ou meio umidificante) ligado a ela está em um nível de atividade de água que, por um lado, assegure o crescimento e metabolismo das células e, por outro, não exceda à máxima capacidade de ligação da água com a matriz sólida (SCHIMIDELL *et al.*, 2001).

Segundo MORAES (2001), fermentação semi-sólida é um processo microbiano que se desenvolve na superfície de materiais sólidos, biodegradáveis ou não, que apresentam a propriedade de absorver ou de conter água, com ou sem nutrientes solúveis, sendo necessário que os microrganismos cresçam com nutrientes difusíveis sob ou sobre a interface gás-sólido.

PANDEY *et al.* (2001) define fermentação semi-sólida como a fermentação que envolve sólidos em ausência (ou quase ausência) de água livre, porém o substrato deve possuir umidade necessária para garantir o crescimento e metabolismo de microrganismos.

Fermentação semi-sólida pode ser caracterizada como um processo de fermentação que ocorre em um meio sólido com baixa atividade de água ( $a_w$ ), tipicamente 0,40 - 0,90, que ocorre em um estado asséptico e natural (NIGAM e SINGH, 1994; GERVAIS *et al.*, 1996).

Fermentação semi-sólida pode ser simplesmente definida como qualquer processo de fermentação que permite o crescimento de microrganismos em materiais sólidos, na ausência de água livre corrente. O material sólido pode ser usado como apoio em fonte de carbono e energia (ROUSSOS *et al.*, 1995).

## **2.4. Fatores que interferem no processo de FSS**

### **2.4.1. Parâmetros do sistema e controle do processo**

As dificuldades em monitorar e controlar os fatores ambientais, biomassa e/ou produção de metabólitos, na fermentação semi-sólida resultam da complexidade e heterogeneidade do meio e variedade de reatores usados.

Como em todo processo fermentativo, o controle de determinados parâmetros se faz necessário para a obtenção de produtos com características constantes e uniformes. BIANCHI *et al.* (2001) afirmam que o substrato deve ter algumas características que possibilitem o maior rendimento do processo tais como: pré-tratamento, temperatura, umidade e atividade de água, pH, aeração, teor de açúcar, ácidos graxos, granulometria, espessura da camada, inóculo, fonte de nitrogênio e carbono, e secagem.

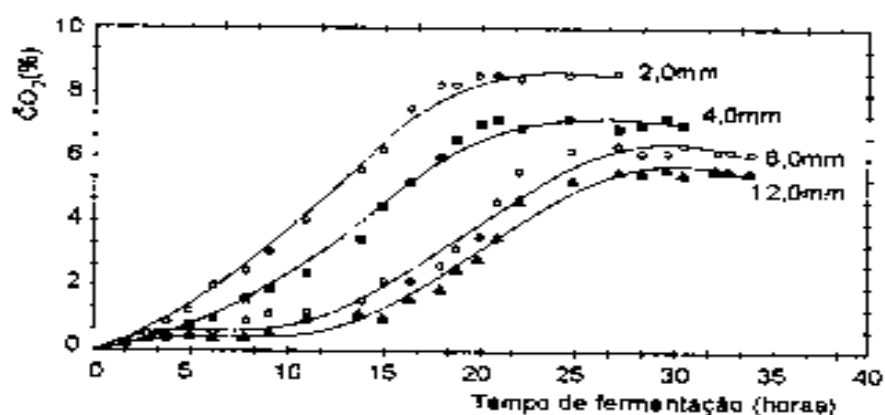
#### **2.4.1.1. Pré-tratamento**

A principal qualidade da porosidade é a capacidade de absorção de água, que facilita o transporte de enzimas e metabólitos por entre o meio e os microrganismos.

SCHIMIDELL *et al.* (2001) afirmam que quanto menor for o tamanho das partículas maior será a área superficial e, conseqüentemente, maior o grau de

transformação. No entanto, o processo necessita ter uma granulometria própria que permita a circulação do ar por entre a massa e a dissipação de gases e calor produzidos, os quais poderiam vir a prejudicar o rendimento do processo.

A Figura 2.1 apresenta a velocidade de fermentação, avaliada pela porcentagem de CO<sub>2</sub> produzida no decorrer do processo, em função do tamanho das partículas do meio sólido. Pode-se observar que, conforme diminui o tamanho das partículas, aumenta a quantidade de gás carbônico produzido, assim como diminui o tempo em que o processo atinge o máximo de produção de CO<sub>2</sub>.



**Figura 2.1.** Influência do tamanho das partículas na velocidade de fermentação do açúcar de beterraba por *Zymomonas mobilis* para a produção de etanol (AMIN, 1992).

Segundo DEL BIANCH et al. (2001), citado por ARAÚJO (2004), algumas vezes é necessário um pré-tratamento no substrato, para este se adequar às condições necessárias ao crescimento e à produção de metabólitos pelos microrganismos. Assim para facilitar a atuação dos microrganismos sobre o meio, podem ser empregados os processos de:

- Esmagamento, quebra, moagem e peneiramento, visando adequar o meio à granulometria mais adequada do processo;
- Suplementação de nutrientes e correção de pH, para suprir a falta de algum nutriente ou adequar às melhores condições de crescimento microbiano;
- Hidrólise ácida ou alcalina de material celulósico, visando facilitar a atuação enzimática;
- Embebição, para regular o teor de umidade inicial do processo;



- Vaporização ou aquecimento, visando a gelatinização ou inchamento do substrato;
- Adição de agente sequestrante, com o objetivo de retirar íons metálicos do meio, que podem diminuir o rendimento do processo; e
- Processo de esterilização, que visa a diminuição ou eliminação de possíveis contaminações.

Nesse último caso, a adição de grande quantidade de inóculo pode evitar ou abrandar o problema da contaminação e a não esterilização do meio não afetaria a produtividade.

#### **2.4.1.2. Temperatura**

A temperatura é uma das condições ambientais que mais afetam a atividade de microrganismos, influenciando no crescimento, metabolismo, capacidade fermentativa e viabilidade celular em leveduras (ALCARDE, 1996).

De acordo com HOTTINGER *et al.* (1987), a elevação da temperatura do meio de cultivo de *Saccharomyces cerevisiae* de 27 para 40 °C promove um aumento no acúmulo de trealose e com isso a levedura adquire termotolerância.

Segundo SCHMIDEL *et al.* (2001), a grande quantidade de calor produzida durante o processo fermentativo pode estar associada às atividades metabólicas dos microrganismos e à altura da camada de substrato.

A temperatura é normalmente medida na camada sólida e no fluxo de gás da entrada e saída do biorreator (FERNANDEZ *et al.*, 1996). Para medir a temperatura são usados freqüentemente termosensores (CHIELLINI *et al.*, 1991), thermistances/thermistors (SAUCEDO *et al.*, 1994) ou sonda metálica.

Em escala industrial, a temperatura é normalmente controlada por ar forçado, agitação ou evaporação (DUNAND *et al.*, 1996). Segundo FERNANDEZ *et al.* (1997), o último método é o mais efetivo: a umidade do ar é ajustada de acordo com modelos de troca de água entre sólidos e gases, permitindo dessa forma uma rápida regulação, dentro de uma faixa de  $\pm 4$  °C, sendo a regulação da temperatura ligada ao controle da umidade da fase sólida. RAIMBAULT e RAMIRES (1980) afirmam que, em condições experimentais, a temperatura do

biorreator normalmente é controlada com um banho termostático ou através da regulação da temperatura ambiente.

#### **2.4.1.3. Umidade e atividade de água do substrato**

Na FSS, a água está envolvida no desenvolvimento de biomassa e reações metabólicas, atividades enzimáticas e transporte de gás, nutrientes e metabólitos extra-celulares.

Segundo LONSANE *et al.* (1985) e THIEMANN (1985) a natureza do substrato, as necessidades do microrganismo utilizado e o tipo de produto final desejado são os principais fatores que determinam o grau de umidade que o substrato deverá ter no início e ao longo da fermentação.

A umidade é considerada ótima no substrato saturado e varia de 30 a 85% dependendo do substrato. As principais causas da variação de umidade são a evaporação devido ao calor metabólico e hidrólise do substrato, e produção de água metabólica (DORTA *et al.*, 1994).

O nível de umidade elevado implicará no decréscimo de porosidade do substrato e irá resultar em uma menor difusão de oxigênio no interior do meio e conseqüente decréscimo de trocas gasosas, além de aumentar o risco de contaminação, principalmente a bacteriana (LONSANE *et al.*, 1985).

Segundo MOO-YOUNG *et al.* (1983), para níveis de umidade menores que o necessitado, haverá maior dificuldade na difusão de nutrientes, resultando em um crescimento do microrganismo menor do que o possível e esperado e, conseqüentemente, com menor produção do produto desejado.

Atividade de água, quantidade de água não ligada e que está à disposição dos microrganismos, é definida como a razão entre a pressão de equilíbrio de vapor do substrato em relação à água pura, à mesma temperatura. A atividade de água influencia o desenvolvimento microbiano e os processos bioquímicos, tendo por isso, cada microrganismo um nível de atividade de água mínimo para que possa efetuar suas atividades metabólicas. De acordo com RAMANA *et al.* (1993) os fungos filamentados possuem uma atividade de água mínima de 0,7, nas leveduras o valor situa-se em 0,8 e para as bactérias 0,9.

O método PEC (*Proximity Equilibration Cell*) foi proposto para medir a atividade de água no processo da FSS (XAVIER e KARANTH, 1992). Este método determina o ganho em peso de um papel de filtro pré-secado, em equilíbrio com o substrato.

#### **2.4.1.4. pH**

Segundo JAY (1992), o pH é um dos fatores que exerce maior efeito seletivo sobre a microbiota capaz de desenvolver-se em frutas e produtos derivados.

De acordo com LEITÃO (1980), o pH é uma característica intrínseca do alimento, cuja importância fundamental reside no controle de microrganismos, além de facilitar a maior conservação do alimento.

O pH não acelera unicamente o acréscimo dos microrganismos, mas também o grau de sobrevivência durante o armazenamento, tratamento térmico ou qualquer outro sistema de conservação (FAZIER e WESRHOFF, 1993).

As variações no pH são resultados do consumo do substrato (por exemplo hidrólise protéica) e/ou produção de metabólitos (por exemplo ácidos orgânicos). Ele é o indicador das mudanças das atividades metabólicas. De acordo com LONSANE *et al.* (1985), a variação brusca do potencial hidrogeniônico pode ser amenizada com a utilização de substratos com boa capacidade tamponante ou com a adição de soluções tampão durante a etapa de umidificação do substrato.

Na FSS, nenhum eletrodo existente pode registrar o pH do meio sólido, por causa da falta de água livre (DUNAND *et al.*, 1996). Alguns autores sugerem o uso de um eletrodo potenciométrico (VILLEGAS *et al.*, 1993), ou um eletrodo de pH *Standard*, depois de diluir a amostra em água destilada (DURAND e CHÉREAU, 1988).

#### **2.4.1.5. Pectina**

BOBBIO e BOBBIO (1985) afirmaram que a pectina é um polissacarídeo conhecido há bastante tempo e nos últimos quarenta anos vem sendo utilizado na forma de pó, como ingrediente de grande valor para a fabricação de geléias. No início apenas um tipo de pectina era utilizado e sua qualidade era avaliada somente pelo seu grau de geleificação. Depois, outras substâncias foram

descobertas, derivadas das pectinas e surgiram outros termos técnicos, por exemplo, as pectinas de baixo teor de metoxilas.

Em muitas frutas são encontradas pectinas. Na presença de açúcares e ácidos, a pectina tende a formar um gel; isso decorre da sua importância nos produtos derivados das frutas. Para determinação das pectinas as metodologias se baseiam na sua extração por água quente seguida da precipitação com álcool e, após purificação, a pesagem na forma de pectato de cálcio ou ácido livre (BRASIL, 2005).

NAGY *et al.* (1993) afirmaram que a presença de substâncias pécticas nas frutas aumentam a viscosidade dificultando a clarificação e concentração dos sucos.

#### **2.4.1.6. Cinzas**

Para SILVA (1981), determinar cinza ou resíduo mineral é quando uma amostra do produto a ser analisado é submetida a uma temperatura de 500 a 600 °C, ou seja, até o aquecimento ao rubro, durante 4 horas ou até a combustão total da matéria orgânica. Isso mostra a riqueza da amostra em elementos minerais. O teor de cinzas pode permitir, às vezes, uma estimativa das riquezas de cálcio e fósforo do alimento analisado; porém, alguns alimentos de origem vegetal são, ainda, ricos em sílica, o que resulta num teor elevado de cinzas. Essa determinação é feita muitas vezes apenas para se conhecer o extrato não nitrogenado e/ou a matéria orgânica de determinadas amostras, sem a preocupação do teor de minerais.

#### **2.4.1.7. Aeração**

Para um bom rendimento e uma rápida fermentação em substrato sólido, é necessário o uso de uma grande área superficial do meio de cultura, no qual o microrganismo pode se desenvolver em contato com o ar (CAMPOS *et al.*, 2003).

O número de células, a viabilidade, o nível intracelular de açúcares de reserva e o teor de ácidos graxos são maiores em cultivos de leveduras conduzidos sob condições de aerobiose do que sob condições de anaerobiose;

tais diferenças influenciam diretamente no comportamento das mesmas na ocasião da estocagem (MAEMURA *et al.*, 1998).

Segundo LONSANE *et al.* (1985), a quantidade de ar estéril a ser introduzida no processo fermentativo vai depender da natureza dos microrganismos, da quantidade de calor metabólico a ser dissipada no processo, da espessura da camada de substrato, da quantidade de CO<sub>2</sub> e outros metabólitos voláteis a serem eliminados e da necessidade de oxigênio para a síntese dos produtos.

De acordo com THIEMANN (1985), a fermentação semi-sólida necessita, de quatro a cinco vezes, mais oxigênio que a fermentação submersa.

#### **2.4.1.8. Teor de açúcar**

O armazenamento, após preservação de células biológicas por processo de secagem, sob baixas temperaturas, é bastante utilizado. Contudo, apresenta alguns efeitos indesejáveis, como a diminuição da viabilidade das células (CARPENTER *et al.*, 1987). Na prevenção ou redução destes efeitos adversos, a adição de algumas substâncias como a sacarose, leite em pó, glicerol, polímeros de carboidratos e outros, são recomendadas (DINIZ-MENDEZ *et al.*, 1999).

De acordo com WIENKEN (1990), organismos anidrobióticos possuem a capacidade de viver durante muito tempo no estado de desidratação, sendo resistentes ao frio, calor e seca. Essa característica de tolerância à secagem em leveduras é devida à presença dos dissacarídeos trealose e sacarose (LESLIE *et al.*, 1995).

Segundo LESLIE *et al.* (1994), existe uma clara correlação entre a quantidade de trealose presente em células viáveis de *Saccharomyces cerevisiae* e sua habilidade em tolerar a desidratação, a altas temperaturas e o armazenamento. Essas conclusões concordam com aquelas de SUOMALAINEN e PFAFFLI (1961), os quais verificaram que em leveduras de panificação, a manutenção da viabilidade celular era devida à trealose, a qual apresenta a função de proteger as células contra a autólise.

Linhagens de *Saccharomyces cerevisiae* apresentaram uma viabilidade celular de 35%, após 25 dias, quando armazenadas em meio sem nutriente, ao

passo que na deficiência de trealose, estas permaneceram viáveis, por apenas 14 dias (PANEK, 1985).

#### **2.4.1.9. Sólidos solúveis totais ( °Brix )**

Os sólidos solúveis indicam a quantidade, em gramas, dos sólidos que se encontram dissolvidos no suco ou polpa. São comumente designados como °Brix e têm tendência de aumentar com a maturação. Os sólidos podem ser medidos no campo ou na indústria, com auxílio de refratômetro.

Para RODRIGUES *et al.* (1977), o valor dos sólidos solúveis nos frutos tem grande importância, uma vez que, quanto maior a quantidade desses componentes, menor será a quantidade adicionada de açúcares na industrialização de produtos derivados de frutos, aumentando, então, a qualidade e diminuindo o custo de produção.

Para BLEINROTH (1988), à medida que as frutas vão amadurecendo, o amido é hidrolisado em açúcares complexos e estes são transformados em açúcares simples, conseqüentemente, com a maturação da fruta o seu teor de sólidos solúveis vai aumentando. Portanto, os sólidos solúveis podem ser considerados com índice de maturação da fruta.

#### **2.4.1.10. Granulometria**

Em relação ao tamanho da partícula, um problema se apresenta: se por um lado, quanto menor o tamanho da partícula maior é a área superficial e, conseqüentemente, maior o grau de transformações, por um lado, o processo necessita ter uma granulometria própria visando permitir a circulação do ar por entre a massa e a dissipação de gases e calor produzidos, os quais poderiam vir a prejudicar o rendimento do processo (BIANCHI *et al.*, 2001), citado por ARAÚJO (2004).

RAIMBAULT (1977) e RAMIRES (1980) detectaram que na preparação de substrato de diversas matérias-primas (farinha de mandioca, bananas, resíduos de bananas, batatas e resíduos de batatas), destinado à fermentação em meio semi-sólido, através de agitação mecânica, depois de inoculado espontaneamente,

tomou a forma de grânulos bem separados e uniformes de uns 2-3 mm de diâmetro.

PANDEY (1994) citado por ARAÚJO (2004), preparou uma mistura de farelo de trigo com farinha de milho (proporção 9:1) formando um substrato, o qual apresentava partículas com diâmetros entre 425-500  $\mu\text{m}$  e 500-600  $\mu\text{m}$ , respectivamente, proporcionando uma maior produção de amiloglicose.

ECHEVARRIA *et al.* (1991) citado por ARAÚJO (2004), realizaram um estudo sobre o enriquecimento protéico de cana-de-açúcar, através do microrganismo *Aspergillus niger*, onde o substrato utilizado era composto de partículas de 1,4 mm, que proporcionou um melhor rendimento do produto fermentado.

BUDIATMAN e LOSANE (1987) citado por ARAÚJO (2004), utilizaram resíduo fibroso do processamento de mandioca com diâmetro entre 3,0 e 5,0 mm para a produção de pectinase. Os mesmos autores concluíram em seus estudos que, na porosidade, a principal qualidade desta característica é a capacidade de absorção de água, que facilita o transporte de enzimas e metabólitos entre o meio e os microrganismos.

#### **2.4.1.11. Espessura da camada**

BIANCHI citado por PERAZZO NETO (1999), ressalta a necessidade de se otimizar a concentração de inóculo para as fermentações em substratos sólidos, afirmando que uma concentração baixa de inóculo pode favorecer o desenvolvimento de contaminantes e formar pouca biomassa. Já um inóculo com elevada concentração de esporos pode exaurir o meio para a formação de biomassa, reduzindo a quantidade do produto que se deseja obter. O mesmo autor ainda ressalta que, caso se deseje a produção de biomassa, é recomendado o emprego de inóculo elevado para evitar contaminantes, porém deve-se ter cuidado para não se elevar muito o custo de produção com a preparação do inóculo.

Para obtenção do ácido cítrico por fermentação semi-sólida, o microrganismo utilizado foi, em todos os estudos, o *Aspergillus niger*. Inoculando-se com uma suspensão de  $2,0 \times 10^6$  esporos por grama meio, após 4 a 6 dias, obteve-se uma

conversão de 80% (BIANCHI *et al.*, 2001). Os mesmos autores, realizando produção de antibióticos com a penicilina, introduziram no processo um inóculo com  $5,0 \times 10^6$  esporos por grama de meio, durante um período de 46 h.

#### **2.4.1.12. Fonte de nitrogênio e carbono**

PERAZZO NETO (1999) afirma que a capacidade de utilização das fontes de carbono e nitrogênio está intimamente ligada ao conjunto enzimático, que é específico para cada espécie microbiana. Assim, há microrganismos que possuem capacidade de utilizar compostos complexos de carbono e nitrogênio, como amido e proteínas, respectivamente, e outros que só utilizam substâncias simples tais como: açúcares e uréia, com fontes de carbono e nitrogênio, respectivamente.

SHANKARANAND e LONSANE (1994) trabalharam com casca de café no processo de fermentação em meio semi-sólido para produção de ácido cítrico utilizando *Aspergillus niger* CFTRI 30. Estes autores afirmam que o enriquecimento do meio com  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  na proporção de 0,05 e 0,1% não aumentou a produção de ácido cítrico, já as concentrações da ordem de 0,5 e 0,2% diminuíram a produção do produto, concluindo assim que o substrato continha nitrogênio suficiente para o desenvolvimento do processo.

DURAN citado por ARAÚJO (2004), relata que a fonte de carbono representa 40 a 59% do custo de produção de SCP (single cell protein – proteína de microrganismos unicelulares). Por essa razão, tem sido de grande interesse o uso de fontes alternativas de carbono que estejam mais disponíveis e mais viáveis economicamente.

De acordo com CATÃO citado por ARAÚJO (2004), normalmente os carboidratos são as principais fontes de carbono acessíveis aos fungos. São metabolizados proporcionando energia, atuando como precursores na síntese do material celular. Outras fontes de carbono utilizadas pelos fungos incluem álcool, hidrocarbonetos e amido. Utilizam também nitrogênio sob a forma de amônia, embora quase todos utilizem nitrato.



#### **2.4.1.13. Secagem**

A secagem tem por finalidade retirar a água contida nos produtos agrícolas, uma vez que por ocasião do corte, as plantas apresentam um alto teor de umidade, geralmente entre 80 e 85% (b.u.), que é reduzido rapidamente para valores próximos a 65% (b.u.), devido a perda de água superficial. A remoção da umidade é feita em um nível que o produto fique em equilíbrio com o ar do ambiente onde será armazenado, a fim de preservar a aparência e a qualidade nutritiva (SILVA, 1995).

Corroborando, SANTIN (1996) afirma que a operação de secagem é de grande importância nos processos biotecnológicos, devido a alta sensibilidade dos produtos microbiológicos as condições ambientes. Portanto, o processo de preservação deve ser ajustado individualmente, sob condições estritamente determinadas.

#### **2.5. Biorreator**

O biorreator é utilizado no processo de fermentação, onde a matéria-prima, sob condições satisfatórias, é convertida a um produto desejado. Maximizar a taxa de formação e o rendimento dos produtos dentro do biorreator é uma das metas mais importantes no aperfeiçoamento do processo de FSS. Em contraste com os sistemas de FSm (Fermentação Submersa), os biorreatores da FSS, não alcançaram ainda um alto grau de desenvolvimento, devido aos problemas associados ao meio sólido, como baixa transferência de energia e difícil manuseio do material (ROBINSON e NIGAM, 2003).

O processo de FSS envolve preparação do substrato, esterilização inicial do substrato e da biomassa depois da recuperação do produto, preparação do inóculo, carga e descarga do equipamento, como também recuperação do produto. Um biorreator deve ser projetado de maneira a facilitar todas essas operações e apresentar as seguintes características:

- Retenção do substrato. O material de construção do biorreator de sistema de FSS deve ser firme, resistente à corrosão e a tóxico ao organismo usado no processo. Também deve ter um custo relativamente baixo;

- Prevenção de contaminantes na entrada no processo, como também controle da liberação do organismo usado no processo ao ambiente. O segundo item é importante considerando-se que a maioria dos processos de FSS envolvem esporos de fungos, que podem ser patogênicos e causar danos ao meio ambiente. Isto pode ser alcançado pela incorporação de filtros no fluxo de saída de ar e por um cuidadoso lacre e filtração do fluxo de ar na entrada, porém estes cuidados aumentam os custos do equipamento;
- Efetiva regulação da aeração, mistura e remoção de calor para o controle dos parâmetros operacionais de temperatura, atividade de água e concentração de oxigênio. Frequentemente, os processos de FSS sofrem problemas de remoção de calor ou perdas de água do substrato por evaporação, o que afeta o rendimento e a qualidade do produto desejado;
- Manutenção e uniformidade dentro do substrato. Isto pode ser alcançado através de uma mistura efetiva que também é importante para minimizar os gradientes térmicos, que é um fator importante na FSS.
- A seguir, alguns tipos de biorreatores comumente empregados para a realização de uma fermentação semi-sólida.
- Biorreatores de vidro - erlenmeyers, frasco de Fernbach e garrafas de culturas são bastante utilizados devido à facilidade de manuseio durante as pesquisas. No entanto embora sejam excelentes para o início de uma pesquisa, deixam a desejar quando se quer a ampliação de escala do processo.
- Bandejas - podem possuir seu fundo intacto, o que significaria uma atuação muito parecida com a dos erlenmeyers, porém com uma área superficial de troca e uma capacidade de alocar meio de cultura muito maior. Podem também ter seu fundo substituído por uma tela perfurada, o que lhes confere uma maior eficiência na circulação de ar por todo o meio, e não somente na parte superior exposta ao ambiente.
- Tanques circulares - TOYAMA (1976) indica um equipamento denominado produtor de “Koji” automático estacionário, que consiste de dois tanques rotatórios de 7 m de diâmetro, dotados de um agitador helicoidal, dentro de

uma câmara de condições controladas. Podem ser processados, a cada batelada, cerca de 2 a 3 toneladas de meio de cultura, com alimentação, esterilização, inoculação e retirada do produto, realizados automaticamente.

- Esteira rolante - as etapas de inoculação e incubação do material esterilizado são realizadas em longas esteiras de fundo perfurado por onde circula ar úmido. E segundo THIEMANN (1985), dependendo das necessidades do produto, pode ser realizada uma agitação ocasional.
- Tubular horizontal - neste processo, também denominado tambor rotativo, o substrato é esterilizado e resfriado diretamente no tambor. A aeração da massa é realizada pela passagem de ar esterilizado e umidificado através do reator, objetivando também o controle da temperatura interna. Segundo THIEMANN (1985), esse equipamento apresenta um custo relativamente elevado para o volume de material produzido, dificuldades na manutenção da integridade do micélio devido à agitação do sistema, além das dificuldades de ampliação de escala do processo.
- Tubular vertical - também denominado de fermentador tipo coluna, tem sido o reator utilizado em pesquisas quando se deseja obter o controle do processo. THIEMANN (1985) explica que esse tipo de reator apresenta como vantagens, um espaço reduzido, a rapidez de carga e descarga e uma relação volume total /volume útil próximo a 1. Como desvantagens, a compactação da massa, a dificuldade de dissipação de calor e um grau de umidade da massa não uniforme ao longo do equipamento.

Saco plástico - SUHET (1999) utilizou sacos plásticos para a realização do enriquecimento protéico do resíduo da industrialização do abacaxi, por FSS. O referido autor destaca que é necessário perfurar os sacos após um certo período, para permitir a aeração do meio.

### Capítulo 3 - Material e Métodos

Neste capítulo os materiais são relacionados e as metodologias utilizadas no desenvolvimento deste trabalho. Os materiais são descritos, passando por todos os processos de tratamentos e depois são feitos estudos de suas características físicas, físico-químicas e químico-bromatológicas. Os métodos de experimentais são normalizados e citados, enquanto que os métodos que não são normalizados são descritos e/ou referenciados.

Esta pesquisa foi realizada nos seguintes Laboratórios:

- Laboratório de Transferências de Meios Porosos e Sistemas Particulados da Unidade Acadêmica de Engenharia Química, Universidade Federal de Campina Grande (UAEQ/UFCG). Análises realizadas: atividade de água, SST, AR, X (b.s), X (b.u), MS, MO,MM e pectina ;
- Laboratório de Alimentação e Nutrição Animal de Saúde e Tecnologia Rural – UFCG – Campus de Patos. Análises de MS, PB, MM, FDN, FDA e EB;
- Laboratório de Pesquisa e Extensão da UEPB – Campus de Campina Grande/Paraíba foi feita a análise de PB;
- Laboratório de Nutrição e Alimentação Animal (LNAA) do Departamento de Zootecnia – UFPB – campus de Areia, PB, análises realizadas de: EB, FDA, FDN e DIVMS “in vitro”;
- Laboratório da EMBRAPA (Centro do Algodão – Campina Grande/Paraíba), as análises feitas foram de: PB, Ca, Mg, P e S.

Os resíduos estudados foram: casca de abacaxi (Caa), coroa de abacaxi (Coa) e casca de maracujá (Cam). Procedeu-se as coletas nas Estações Experimentais da EMEPA, localizadas nas Regiões de Sapé (abacaxi) e de Lagoa Seca (maracujá)/Paraíba, onde existem unidades demonstrativas de pesquisa destas culturas.

### 3.1. Matérias-primas

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas as matérias-primas a seguir relacionadas.

#### 3.1.1. Substratos

Os substratos utilizados para o enriquecimento protéico foram: casca e coroa de abacaxi Pérola (*Ananás comosus* L. Merr) e a casca de maracujá amarelo (*Passiflora edulis* Sims), mostradas na Figura 3.1.



**Figura 3.1.** Frutos de abacaxi Pérola e maracujá amarelo

A casca e a coroa do abacaxi e a casca do maracujá foram retiradas, trituradas em liquidificador e, então, se determinou atividade de água e umidade.

#### 3.1.2. Microrganismo

O microrganismo utilizado para o enriquecimento protéico dos substratos em estudo foi a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, prensada, do tipo comercial fermento biológico fresco, da marca Fleischman, com umidade de 80% (b.u.) e com proteína bruta (PB) média de 45%.

### 3.2. Métodos experimentais

#### 3.2.1. Umidade (X)

As umidades dos três resíduos (Caa, Coa, Cam) foram determinadas em estufa, à temperatura de 105 °C até atingir peso constante. Essas análises foram feitas em duplicatas. As umidades foram calculadas em base seca (Eq. 3.1) e em base úmida (Eq. 3.2).

$$X_{b.s.} = \frac{m_{\text{água}}}{m_{\text{seca}}} \quad (3.1)$$

em que:

$X_{b.s.}$  - conteúdo de umidade, expresso em base seca,  $g\ g^{-1}$

$m_{H_2O}$  - massa de água, g

$m_{seca}$  - massa seca da amostra, g

$$X_{b.u.} = \frac{m_{H_2O}}{m_{total}} \quad (3.2)$$

onde:

$X_{b.u.}$  - umidade, expresso em base úmida,  $g\ g^{-1}$

$m_{H_2O}$  - massa de água, g

$m_{total}$  - massa total da amostra, g

### 3.2.2. Atividade de água e Isotermas de dessorção

As medidas das atividades de água das amostras foram realizadas utilizando-se o equipamento Termoconstanter Novasina TH200 nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C.

A medida da atividade de água foi realizada, colocando-se de cada vez uma amostra dos resíduos individuais em contato com o ar de umidade relativa conhecida e constante, aguardando-se o equilíbrio, situação em que o teor de umidade das amostras deixava de variar.

De início, amostras de 2,0 g foram colocadas dentro de células que acompanham o aparelho e, após pesadas, levadas à estufa regulada a 60 °C, por um período de 20 min, onde ocorreria um processo de secagem; após este período na estufa, as amostras eram retiradas e colocadas em um dessecador. Posteriormente, as células, contendo as amostras, eram levadas ao equipamento para determinação da atividade de água das amostras.

Cada amostra ficava no equipamento até que a leitura da atividade de água se estabilizasse, para então ser retirada e pesada em uma balança analítica. Depois de pesada, esta retornava à estufa permanecendo durante 20 min em média, para em seguida se fazer a leitura.

As isotermas de dessorção foram determinadas utilizando-se o Método Estático-indireto conforme estudo efetuado por CAPRISTE e ROTSTEIN (1982). A sucessão das leituras de atividade de água indicou, em cada temperatura utilizada os pontos da curva das isotermas de dessorção dos resíduos individuais (Caa, Coa e Cam). As amostras ficaram na mesma estufa por 24 h para a determinação da massa seca (AOAC, 1990; MOURA, 2001).

### 3.2.2.1. Modelos matemáticos para ajuste das isotermas

Para o ajuste matemático dos dados experimentais das isotermas, é necessário utilizar-se modelos e fazer a correspondência entre a umidade do produto analisado ( $X_e$ ) e a atividade de água ( $a_w$ ), fornecendo informações importantes sobre o fenômeno de dessorção.

Utilizaram-se os modelos matemáticos: BET, Henderson e GAB (Tabela 3.1).

**Tabela 3.1.** Modelos matemáticos para o ajuste das isotermas de casca e coroa de abacaxi e casca de maracujá

Nome do modelo	Equação	Referência
BET	$X_{eq} = \frac{x_m \cdot C \cdot a_w}{1 - a_w} \left[ \frac{1 - (n+1) \cdot (a_w)^n + n \cdot (a_w)^{n+1}}{1 - (1-C) \cdot a_w - C \cdot (a_w)^{n+1}} \right]$	BRUNAUER et al. (1938)
Henderson	$X_{eq} = \left[ \frac{-\ln(1 - a_w)}{b} \right]^{1/a}$	HENDERSON (1952)
GAB	$X_{eq} = \frac{x_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w)(1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w)}$	VAN DEN BERG (1984)

Sendo:  $a_w$  - atividade de água, decimal

$n$  - número de camadas moleculares

$X_m$  - umidade na monocamada molecular

$X_{eq}$  - umidade de equilíbrio expresso em base seca

$C$  - constante de BET relacionada ao calor de sorção da camada molecular

$a$ ,  $b$ ,  $K$ , - parâmetros de ajuste

$C_{GAB}$  e  $K_{GAB}$  são as constantes de adsorção relacionadas com as interações

energéticas entre as moléculas da monocamada e as subseqüentes, em um sítio de sorção. Quando  $K_{GAB}$  for igual à unidade, a equação se reduzirá à equação de BET com dois parâmetros.

Os critérios usados para a escolha do melhor ajuste foram os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e o desvio médio relativo (P). O desvio médio relativo foi calculado conforme a Equação (3.3).

$$P(\%) = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|V_{exp} - V_p|}{V_{exp}} \quad (3.3)$$

sendo: P - desvio médio relativo (%)

$V_{exp}$  - valor obtido experimentalmente

$V_p$  - valor predito pelo modelo

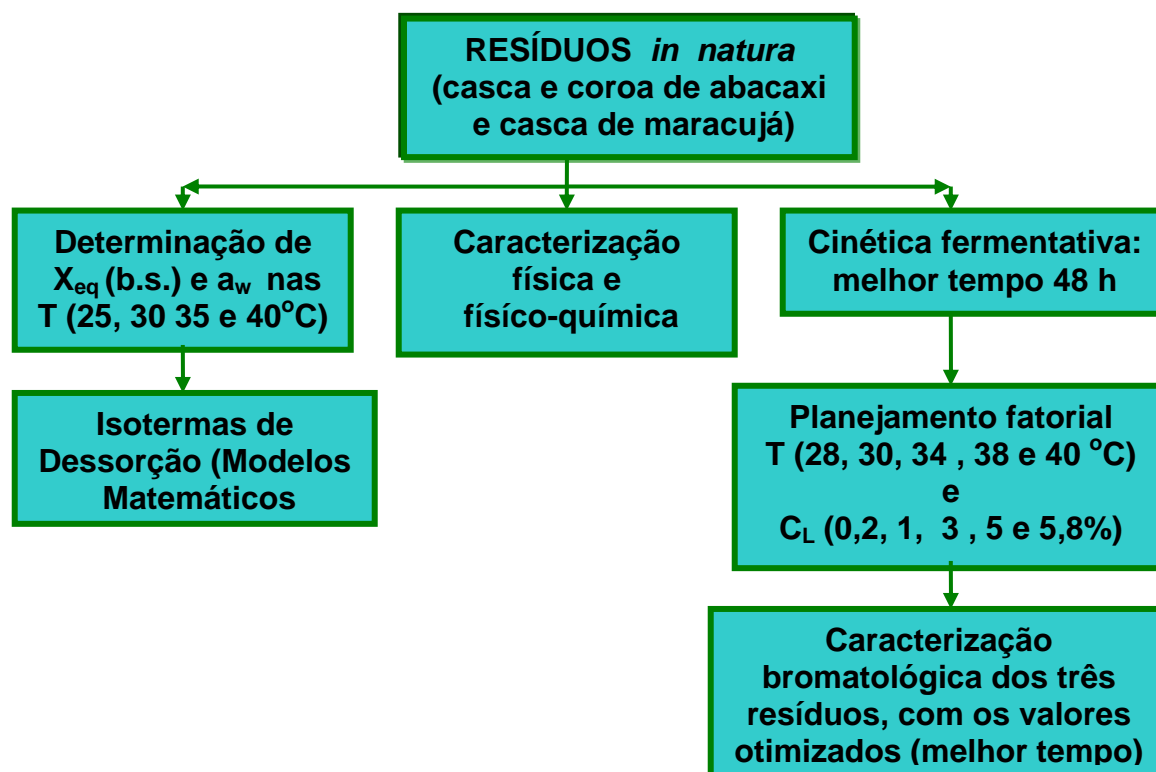
n – número de dados experimentais

### **3.3. Estudos cinéticos de crescimento dos microrganismos em Fermentação Semi-sólida**

Para o desenvolvimento deste trabalho, após determinação do teor de umidade e atividade de água dos substratos, realizou-se o estudo cinético do crescimento da levedura para o enriquecimento protéico dos resíduos: casca e coroa de abacaxi e casca de maracujá em fermentação semi-sólida.

O estudo cinético foi realizado com os três resíduos em estudo, analisando-se a influência do crescimento do microrganismo em relação ao aumento da proteína bruta no período de 12, 24, 48, 72 e 96 h. As etapas do enriquecimento nutricional dos resíduos Caa, Coa e Cam, foram realizadas conforme fluxograma apresentado na Figura 3.3.





**Figura 3.2.** Fluxograma da metodologia do enriquecimento nutricional dos resíduos.

### 3.3.1. Preparação das amostras no processo fermentativo - Biorreatores

As amostras dos resíduos casca e coroa de abacaxi e casca de maracujá foram trituradas em liquidificador e colocadas em bandejas de estrutura de alumínio medindo 12 cm de altura e 21 cm de diâmetro. A seguir foram inoculadas a levedura úmida correspondendo a 1, 3 e 5% do total do conteúdo do substrato. Acondicionadas nestes biorreatores identificados, as amostras foram colocadas em estufas a 30, 34 e 38 °C ( $\pm 2$  °C). A cada período distinto (12, 24, 48, 72 e 96 h), eram coletadas pequenas amostras de cada tipo de substrato (resíduos casca e coroa de abacaxi e casca de maracujá) e submetidas à secagem na temperatura de 55 °C, por 72 h, e após trituradas em moinho elétrico e colocadas em recipientes de plástico herméticos e identificados; eram armazenados à

temperatura ambiente, e depois eram feitas as análises químicas. Após a retirada das últimas amostras coletadas no período de 96 h, juntamente com as demais amostras foram acondicionadas em uma caixa de papelão para serem levadas ao Laboratório. Foram feitas análises de proteína bruta. Determinada segundo o método Kjeldahl, multiplicando-se o teor de nitrogênio por um fator igual a 6,25, conforme método descrito por SILVA *et al.* (1990).

### 3.4. Planejamento fatorial

Um planejamento experimental fatorial foi utilizado, tendo como finalidade avaliar quantitativamente a influência das variáveis de entrada (concentração inicial de inóculo e temperatura) sobre o sistema. Foi realizado um planejamento fatorial  $2^2$  para cada resíduo em estudo. Durante a realização de ensaios, registram-se as respostas observadas em todas as possíveis combinações. A listagem dessas combinações é chamada de matriz de planejamento (BARROS NETO *et al.*, 1996). No entanto, não foi possível visualizar os valores máximos das respostas, isto porque, quando foram construídas as superfícies, o valor máximo ficou nas extremidades, não sendo possível confirmar o ápice das respostas. Dessa forma, foi preciso ampliar este planejamento com a configuração estrela, que teve o intuito de observar o valor máximo do processo ampliando os níveis das variáveis, buscando um modelo quadrático.

O planejamento fatorial foi analisado utilizando-se software Statistica versão 5.0 para obtenção da regressão dos dados experimentais.

Na Tabela é apresentada a matriz de planejamento fatorial  $2^2$ , totalizando 7 experimentos. E na Tabela 3.3 tem-se a matriz de planejamento mais configuração estrela, dos resíduos Caa, Coa e Cam, para o estudo do processo de enriquecimento nutricional, utilizando-se a levedura *S. cerevisiae* em fermentação semi-sólida. Na Tabela 3.4 são apresentados os níveis reais e codificados das variáveis em estudo.

**Tabela 3.2.** Matriz de planejamento fatorial mais configuração estrela

	Concentração de Levedura (C <sub>L</sub> )	Temperatura (T)
1	-1 (1%)	-1 (30 °C)
2	+1 (5%)	-1 (30 °C)
3	-1 (1%)	+1 (38 °C)
4	+1 (5%)	+1 (38 °C)
5	0 (3%)	0 (34 °C)
6	0 (3%)	0 (34 °C)
7	0 (3%)	0 (34 °C)
8	0 (3%)	-1,4142 (28 °C)
9	+1,4142 (5,8%)	0 (34 °C)
10	0 (3%)	+1,4142 (40 °C)
11	-1,4142 (0,2%)	0 (34 °C)

**Tabela 3.3.** Níveis das variáveis de entrada do planejamento fatorial mais configuração estrela

	Níveis				
Variável	-1	0	+1	+1,4142	-1,4142
C <sub>L</sub> (%)	1	3	5	5,8	0,2
T (°C)	30	34	38	40	28

Foram realizados 11 experimentos, enriquecidos com a levedura *Saccharomyces cerevisiae*. O enriquecimento protéico foi realizado no Laboratório de Engenharia Bioquímica pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Química do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande.

### 3.5. Preparo do inóculo

Foi utilizado o fermento biológico (fermento de panificação) em base úmida, peneirado em peneira de nylon e adicionado diretamente no substrato nos níveis de 0,2; 1; 3; 5 e 5,8% da massa total do substrato. Foram utilizados estes níveis porque, neste caso, o objetivo foi reduzir custos econômicos na suplementação alimentar dos animais em comparação com os níveis estudado por ARAÚJO (2004).

Em todos os experimentos foram utilizados 500 g de substrato úmido por bandeja. Os ensaios foram colocados em estufa de cultura, da marca DE LEO, em três temperaturas de 28, 30, 34, 38 e 40 °C, conforme a Tabela 3.4, por um período de 96 h. Após este período, as amostras enriquecidas e as *in natura* foram

para estufa de circulação por 72 h e submetidas um processo de secagem na temperatura de 55 °C; depois de retirados os experimentos, foram trituradas e acondicionadas em depósitos plásticos devidamente fechados e identificados e levadas para análises químico-bromatológica.

### **3.6. Análises químico-bromatológica**

#### **3.6.1. pH**

Para a determinação do pH, foi utilizado o pHmetro digital, segundo método descrito pelo Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005).

#### **3.6.2. Matéria seca (MS)**

Para a determinação da matéria seca, após a pré-secagem do material, a amostra foi aquecida a 55 °C, por 72 h em estufa sem circulação, de acordo com a técnica descrita pela AOAC (1990).

#### **3.6.3. Proteína bruta (PB)**

Foram realizados dois métodos diferentes para análise da proteína bruta (PB) o método Micro Kjeldahl, pelo qual determinou-se o nitrogênio (N) contido na amostra, incluindo o N protéico (proteínas) e o nitrogênio não protéico (aminas, amidas, nitratos, aminoácidos livres). Esta análise foi dividida em três etapas: digestão, destilação e titulação. A percentagem de proteína bruta foi obtida multiplicando-se a percentagem de nitrogênio total pelo coeficiente 6,25, este coeficiente parte do princípio de que as matérias nitrogenadas têm em média 16% de nitrogênio, conforme descrito por SILVA (1998); e o outro método utilizado na EMBRAPA, que determina o Nitrogênio (N), através de reações, com o reativo de Nessler e a leitura foi lida no aparelho de espectrometria com comprimento de onda 410 nm, de acordo com a metodologia descrita por LE POIDEVIN e ROBINSON (1964).

#### **3.6.4. Aumento protéico (AP)**

O aumento protéico (AP) dos resíduos em base seca foi definido como a razão entre o valor protéico dos resíduos enriquecidos em grama (g) e o valor

inicial de proteína bruta do resíduo *in natura* (g), escrita na Equação 3.4 e em porcentagem expresso na Equação 3.5.

$$AP = \frac{\text{valor protéico do resíduo}}{\text{valor protéico do resíduo in natura}} \quad (3.4)$$

$$AP(\%) = \frac{\text{valor protéico do resíduo}}{\text{valor protéico do resíduo in natura}} \times 100 \quad (3.5)$$

### 3.6.5. Energia bruta (EB)

A energia bruta (EB) refere-se à quantidade de calor liberado de uma amostra, quando esta é completamente oxidada em ambiente rico em nitrogênio. Utilizou-se uma bomba calorimétrica (calorímetro adiabático de parr), de acordo com a metodologia proposta pela AOAC (1990). A produção de calor é medida pela elevação da temperatura da água, em condições adiabáticas.

### 3.6.6. Fibra em detergente neutro (FDN)

Para determinação da fibra em detergente neutro, foi possível separar o conteúdo celular (parte do resíduo solúvel no detergente neutro) constando principalmente de proteínas, gorduras, carboidratos solúveis, pectina e outros constituintes solúveis em água, da parede celular (parte insolúvel em detergente neutro). Utilizou-se a técnica segundo VAN SOEST, citada por SILVA (1998), que se fundamenta em remover todo conteúdo celular separando os constituintes da parede que é formada basicamente por celulose, hemicelulose, lignina e proteína lignificada.

Considerou-se como fibra em detergente neutro a porcentagem dos constituintes da parede celular, calculada pela diferença entre as pesagens.

Determinou-se o conteúdo celular, subtraindo de 100 a porcentagem encontrada para parede celular.

### 3.6.7. Fibra em detergente ácido (FDA)

Para determinação da fibra em detergente ácido foi utilizado detergente ácido específico, a fim de solubilizar o conteúdo celular e a hemicelulose, além de maior

parte da proteína insolúvel, obtendo-se um resíduo insolúvel no detergente ácido, denominado de fibra em detergente ácido (FDA), constituída, em quase sua totalidade, de lignina e celulose. A metodologia utilizada foi a técnica proposta por VAN SOEST, descrita por SILVA (1998).

A FDA é a proporção menos digerível da parede celular das amostras em análise pelos microrganismos.

### **3.6.8. Cinza (MM) e matéria orgânica (MO)**

A determinação de cinzas foi realizada através da queima da matéria orgânica. Pesou-se com exatidão 1 (um) grama e incineraram-se as amostras separadamente dos resíduos da casca e coroa de abacaxi e casca de maracujá em uma mufla com temperatura de 550 °C durante 6 horas para total destruição da matéria orgânica. O teor de cinzas é considerado como medida geral de qualidade e normalmente é usado como critério na identificação dos alimentos. O teor de cinzas (Equação 3.6) também serve para a avaliação da matéria orgânica Equação (3.7). A metodologia utilizada foi descrita por SILVA (1998).

$$\% \text{ Cinza} = \frac{m_{\text{cinza}} \times 100}{m_{\text{amostra}}} \quad (3.6)$$

$$\text{MO} = 100 - \text{Cinzas} \quad (3.7)$$

em que:

$m_{\text{cinzas}}$  - massa de cinzas (g)

$m_{\text{amostra}}$  - massa da amostra (g)

MO – matéria orgânica (%)

### **3.6.9. Digestibilidade “in vitro” da Matéria Seca (DIVMS<sub>in vitro</sub>)**

A digestibilidade “in vitro” da matéria seca das amostras avaliadas é a técnica que consiste em deixar amostras avaliadas em contato com o conteúdo líquido de rúmen (inóculo), no interior de um tubo de ensaio, onde se tentam reproduzir as condições predominantes do rúmen-retículo (presença de microrganismo, anaerobiose, temperatura de 39 °C, poder tampão e pH de 6,0), visando

representar o que ocorre “in vivo” durante 48 h de fermentação. A metodologia utilizada foi a técnica proposta por TILLEY e TERRY descrita por SILVA (1998).

### 3.6.10. Pectina

Foram preparados 30 g dos resíduos (casca e coroa de abacaxi) separadamente e triturou-se num becker de 1000 mL. Extraíram-se 400 mL de solução de HCl 0,05 N por 2 h a 80-90 °C e aos poucos vai recolocando água destilada perdida por evaporação. Depois de esfriar, transferiu-se o conteúdo para uma proveta de 500 mL e completou-se o volume. Logo após, filtrou-se, usando algodão.

Foram medidos numa proveta 200 mL do extrato (180 mL) e transferidos para um becker de 1000 mL. Acrescentou-se 250 mL de água destilada e neutralizou-se a solução com NaOH 1 N, usando papel indicador de pH. Após neutralizar, foram adicionados 10 mL de NaOH 1 N em excesso, com agitação constante. Em seguida deixou-se em repouso por uma noite.

Depois foram colocados 50 mL de ácido acético 1 N e após 5 min foram acrescentados 25 mL de solução cloreto de cálcio 1 N com agitação. Ferveu-se por 2 minutos e deixou-se em repouso por mais de 1 hora. Foi feita a filtração através de papel de filtro preparado antecipadamente (molhou-se o papel de filtro com água destilada, secou-se na estufa a 105 °C por 2 h, resfriou-se em dessecador e pesou-se). Depois lavou-se o precipitado com água destilada quase fervendo, até que ficasse livre de cloretos (usou-se o nitrato de prata). Secou-se o papel de filtro contendo o pectato de cálcio na estufa a 105 °C até peso constante, ou a 40 °C durante a noite e deixou-se esfriar em dessecador e pesou-se, conforme a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005).

$$P_{\text{pectato de calcio}} = \frac{m_{\text{pectato de cálcio}} \times 500 \times 100}{V_{\text{filtra do tomado}} \times m_{\text{amostra}}} \quad (3.8)$$

onde:

$P_{\text{pectato de calcio}}$  - Pectato de cálcio (%)

$m_{\text{pectato de calcio}}$  - massa do pectato de cálcio (g)

$V_{\text{filtra do tomado}}$  - volume do filtrado tomado (mL)

$m_{\text{amostra}}$  - massa da amostra (g)

### 3.6.11. Sólidos solúveis totais (°Brix)

Para determinação de sólidos solúveis totais, foram pingados duas gotas da amostra no prisma do refratômetro, e, após alguns segundos fez-se a leitura do °Brix observado. Observou-se a temperatura com auxílio de um termômetro, e após dois minutos anotou-se a temperatura indicada. Com auxílio da tabela de correção de °Brix, este foi corrigido em função da temperatura, para a temperatura padrão de 20 °C.

A Equação 3.9 foi utilizada para obtenção do °Brix corrigido.

$$^{\circ}\text{Brix corrigido} = ^{\circ}\text{Brix não-corrigido} \pm \text{fator de correção} \quad (3.9)$$

### 3.6.12. Açúcares redutores (AR)

O método do DNS baseia-se na redução do ácido 3,5-dinitro salicílico a ácido 3-amino-5-nitro salicílico, concomitantemente com a oxidação do grupo aldeído do açúcar a grupo carboxílico. Após aquecimento, a solução torna-se alaranjada, sendo lida a absorbância da solução em espectrofotômetro a 540 nm, de acordo com SILVA (1998).

### 3.6.13. Determinação de cálcio (Ca) e Magnésio (Mg)

Determinou-se o teor de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) através da digestão do ácido nitroperclórico e depois feita a determinação com a titulação complexométrica com EDTA, segundo a metodologia descrita por LE POIDEVIN e ROBINSON (1964).

### 3.6.14. Determinação do fósforo (P)

Para determinação do fósforo (P) foi utilizada a reação com molibdato de amônio e a leitura foi lida em espectrofotômetro com comprimento de onda a 660 nm, segundo a metodologia descrita por LE POIDEVIN e ROBINSON (1964).



### **3.6.15. Determinação de potássio (K)**

Para determinação de potássio (K) foi feita uma digestão sulfúrica e depois realizada a leitura direta no equipamento de fotometria de chama, de acordo com a metodologia descrita por LE POIDEVIN e ROBINSON (1964).

## Capítulo 4 – Resultados e Discussão

### Características físicas e físico-químicas e atividade de água dos resíduos – Caa, Coa e Cam

Neste capítulo estão apresentados os estudos de características físicas e físico-químicas dos resíduos (casca e coroa de abacaxi e casca de maracujá – *in natura* e as isothermas de dessorção dos resíduos, nas temperaturas usuais dos processos das fermentações (25, 30, 35 e 40 °C).

#### 4.1. Características físicas e físico-químicas da casca e coroa de abacaxi *in natura*

Na Tabela 4.1 são apresentados os valores médios das análises físicas dos frutos de abacaxi *in natura*. Através destes valores, verifica-se que o fruto apresenta resíduo (casca e coroa) em torno de 35,51%, e o rendimento do fruto (polpa) corresponde a 64,48% (p/p), incluindo o talo.

**Tabela 4.1.** Características físicas dos frutos de abacaxi *in natura*

Análises	Valor médio*	Desvio padrão
Massa do fruto (g)	1.081,00	± 0,05
Massa da coroa (g)	95,00	± 0,06
Massa da casca (g)	289,00	± 21,91
Comprimento do fruto (cm)	15,88	± 0,83
Diâmetro do fruto (cm)	4,08	± 0,21
Casca (%)	26,73	± 2,96
Coroa (%)	8,78	± 5,34

\*média de cinco amostras.

Os frutos estudados são de primeira safra. Os valores médios da massa, comprimento e diâmetro do abacaxi Pérola, são menores que os valores apresentados por abacaxis de outras safras. Segundo a EMEPA-PB (1989) e CHOIRY (1992), frutos de abacaxizeiros de primeira safra são sempre menores que os frutos de safras seguintes.

Na Tabela 4.2 são apresentados os valores médios das análises físico-químicas da casca e coroa do abacaxi *in natura*. O teor de sólidos solúveis totais (SST) da casca do abacaxi encontrado foi de 10,5 °Brix, já o da coroa do abacaxi foi de 5,0 °Brix. Observa-se que a casca apresenta SST, expresso em °Brix, duas

vezes maior que o encontrado na coroa, estando de acordo com SUHET (1999). O pH e o percentual de cinzas da casca foram de 3,92 e 1,03% e da coroa de 4,32 e 0,47%, respectivamente. Os açúcares redutores da casca (2,66%) foram quase duas vezes maiores que os encontrados na coroa do abacaxi (1,61%). Estes valores estão próximos aos encontrados por SUHET (1999), que estudou o enriquecimento protéico do resíduo da industrialização do abacaxi. O teor de proteína bruta da casca foi de 10,22% e da coroa de 8,78% (b.s.), concordando com os valores apresentados por UCHIDA *et al.* (1980) e GHOSH *et al.* (1989). O percentual de pectina foi de 0,73 para a casca do abacaxi. A umidade da casca foi de 86,37% e da coroa de 84,5%, mostrando que apenas 4,37% é massa seca para casca e 5,37% para coroa.

**Tabela 4.2.** Características físico-químicas da casca e coroa do abacaxi

<i>Análises</i>	Casca	Coroa
Sólidos solúveis totais (°Brix)	10,5	5,00
pH	3,92	4,32
Cinzas	1,03	0,47
Açúcares redutores (%)	2,66	1,61
Proteína bruta (% b.s.)	10,22	8,78
Pectina (%)	0,73	-
Umidade (%)	86,37	84,50

#### **4.2. Características físicas e físico-químicas da casca de maracujá *in natura***

Os valores médios das análises físicas dos maracujás estão apresentados na Tabela 4.3. Os valores médios do eixo maior e menor dos frutos apresentados neste trabalho estão de acordo com os relatados por MACHADO *et al.* (2003), que encontraram valores de  $7,5 \pm 0,8$  cm e de  $7,0 \pm 0,7$  cm para o eixo maior e menor, respectivamente. A massa média dos frutos foi igual a 141,84 g e constitui-se em média de 63% de casca (película coriácea e albedo) e 37% de suco e sementes, mostrando que há uma alta porcentagem de casca nos maracujás. A diferença entre a massa do fruto total e a massa da casca resultou na massa do suco mais sementes.

**Tabela 4.3.** Análises físicas dos frutos de maracujá

Análises	Valores médio*	Desvio padrão
Eixo maior (cm)	8,16	± 2,07
Eixo menor (cm)	7,05	± 2,46
Massa do fruto total (g)	141,84	± 6,70
Massa da casca (g)	89,82	± 3,27
Casca (%)	63,32	± 3,78
Suco + sementes (%)	36,68	-

\*média de cinco amostras.

Os valores das análises físico-químicas da casca do maracujá encontram-se na Tabela 4.4. A umidade da casca do maracujá foi de aproximadamente 92% e o percentual de cinzas encontrado foi de 0,66.

**Tabela 4.4.** Análises físico-químicas da casca do maracujá

Análises	Média
Umidade (%)	91,97
Cinzas (%)	0,66
pH	4,08
Sólidos solúveis totais (°Brix)	5,00
Proteína bruta (% b.s.)	10,55
Pectina (% pectato de cálcio)	3,10
Açúcares redutores (% glicose)	1,09

O pH de 4,08 encontrado no resíduo foi menor que o apresentado por MACHADO *et al.* (2003), que determinaram o pH do albedo do maracujá da região de Jaguaquara - BA de 4,52, que indica uma acidez pouco pronunciada. Comportamento inverso foi observado com relação ao teor de sólidos solúveis totais (SST): o valor encontrado neste trabalho foi de 5 °Brix e o valor encontrado pelos autores citados acima foi de 4,6 °Brix, valor pouco menor que o encontrado no trabalho.

O teor de proteína bruta encontrada foi de 10,55%, indicando a possibilidade de aproveitamento desse resíduo, através do desenvolvimento de novos produtos, como suplemento nutricional (protéico, energético, vitamínico e mineral), solucionando o problema de acúmulo do resíduo e gerando um produto de valor agregado.

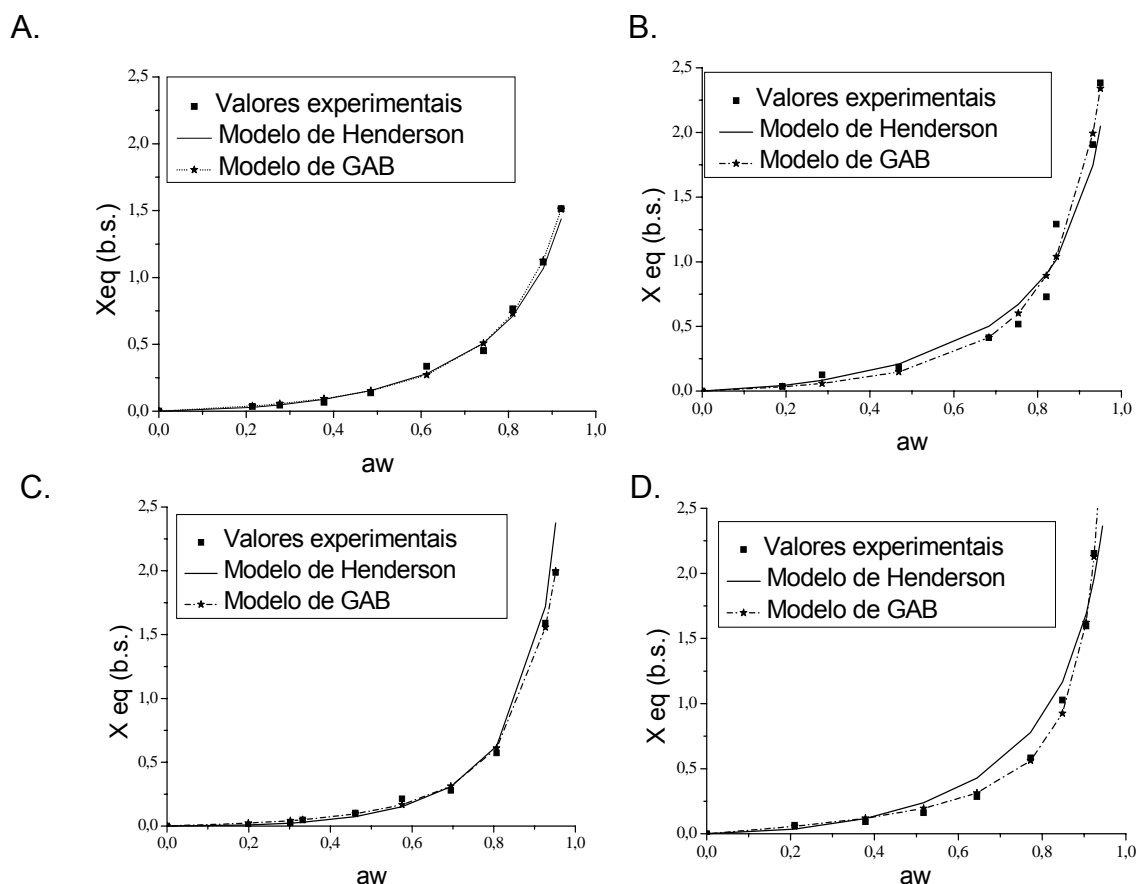
O teor de pectina encontrado foi de 3,1%, em base úmida, sendo maior que o encontrado por PRUTHI (1963) quando determinou a composição bromatológica da casca do maracujá roxo da Índia, encontrando o teor de pectina com valores de 1,54% (mínimo), 1,78% (médio) e 2,47% (máximo). OTAGAKI e MATSUMOTO (1958) encontraram um teor de pectina de 20%, quando trabalharam na composição bromatológica na casca do maracujá amarelo do Havai; este resíduo apresentou um alto teor de pectina, por ter sido feita à análise em matéria seca.

#### 4.3. Isotermas de dessorção da casca de abacaxi

A Figura 4.1 apresenta as isotermas de dessorção da casca de abacaxi nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C (dados experimentais), através dos modelos de Henderson e GAB. As atividades de água ( $a_w$ ) e suas respectivas umidades de equilíbrio ( $X_{eq}$ ), obtidos experimentalmente nas diferentes temperaturas, estão representados na Tabela 4.5.

**Tabela 4.5.** Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ), em base seca, para a casca do abacaxi em função da temperatura (T) e da atividade de água ( $a_w$ )

Temperatura (°C)							
25		30		35		40	
$a_w$	$X_{eq}$	$a_w$	$X_{eq}$	$a_w$	$X_{eq}$	$a_w$	$X_{eq}$
0	0	0	0	0	0	0	0
0,214	0,035	0,192	0,036	0,199	0,0304	0,210	0,066
0,277	0,045	0,286	0,125	0,302	0,026	0,379	0,092
0,378	0,065	0,469	0,186	0,332	0,047	0,517	0,162
0,485	0,137	0,684	0,413	0,461	0,100	0,645	0,286
0,613	0,335	0,754	0,518	0,576	0,213	0,773	0,583
0,743	0,452	0,821	0,729	0,695	0,279	0,849	1,028
0,810	0,766	0,845	1,292	0,807	0,573	0,905	1,596
0,880	1,115	0,950	1,906	0,927	1,589	0,924	2,153
0,921	1,514			0,952	1,987	0,939	2,616
						0,942	3,025
						0,944	3,267



**Figura 4.1.** Isotermas de dessorção da casca do abacaxi nas temperaturas 25-A; 30-B; 35-C e 40 °C -D, utilizando-se as equações de Henderson e GAB. Valores experimentais (pontos) e modelos (linhas).

Verifica-se que os dados experimentais das isotermas de dessorção do resíduo de casca de abacaxi, utilizando-se os modelos de Henderson e GAB, ajustam razoavelmente bem os dados, mas o melhor ajuste é através do modelo de GAB, verificado nos pontos experimentais, em relação aos ajustes pelo modelo de Henderson, conforme Figura 4.1.

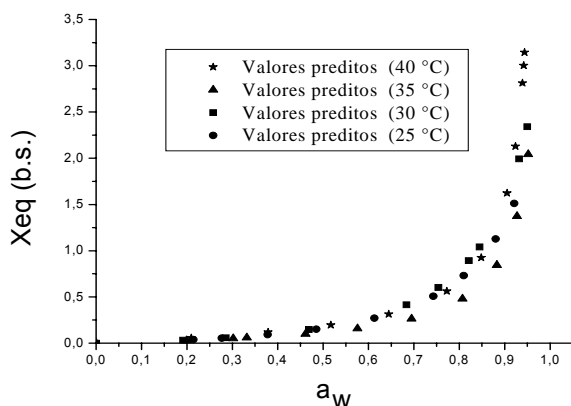
Observa-se na Figura 4.1 que nas quatro temperaturas estudadas o modelo de Henderson ajusta muito bem os dados experimentais de atividade de água ( $a_w$ ) abaixo de 0,5, mas apresenta maiores resíduos (diferença entre os dados experimentais e os preditos pelo modelo) em valores de  $a_w$  acima de 0,5. O modelo de GAB ajusta bem os dados experimentais em toda a faixa de  $a_w$ .

A levedura *Saccharomyces cerevisiae*, o microrganismo utilizado no processo

de enriquecimento protéico do resíduo, requer  $a_w$  mínima de crescimento em torno de 0,90. Para o processo de fermentação com o substrato abaixo de 80%, o crescimento da levedura (inóculo utilizado no enriquecimento nutricional) é inibido, podendo não se desenvolver no processo de fermentação. A faixa ótima para o crescimento da levedura está entre 0,9 e 0,99 de  $a_w$  do substrato para a casca de abacaxi (GOULD, 1989).

O processo de enriquecimento protéico da casca de abacaxi deve ser iniciado com umidade acima de 80% (b.u) que corresponde à atividade de água acima de 0,90, para que o microrganismo tenha condições de crescimento. Para a conservação e manutenção da qualidade no armazenamento deste resíduo seco, a atividade de água deve ser de no mínimo 0,35, correspondendo à umidade ( $X_{eq}$ ) abaixo de 0,20 em base seca (GOULD, 1989).

Na Figura 4.2 têm-se os dados apresentados do modelo de GAB nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C. Observa-se que as isotermas estão quase sobrepostas, com exceção da isoterma a 35 °C, que está deslocada, passando abaixo das demais. O mesmo fenômeno foi constatado por SILVA *et al.* (2002), ao estudarem as isotermas de dessorção da polpa de manga.

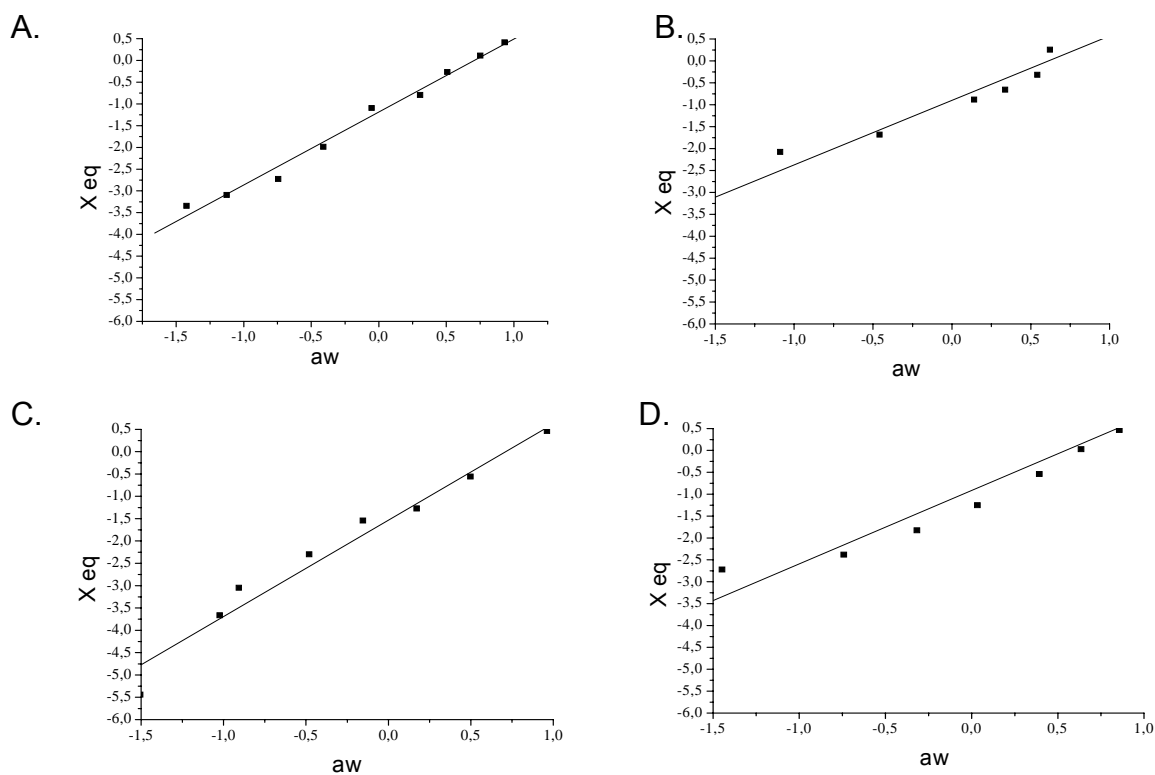


**Figura 4.2.** Modelo de GAB para o resíduo casca do abacaxi.

A Figura 4.3 apresenta a linearização da equação de Henderson para as quatro temperaturas estudadas (25, 30, 35 e 40 °C). Observa-se que a linearização da equação de Henderson apresentou, em todas as temperaturas estudadas, bom coeficiente de correlação (R), variando de 0,975 a 0,993. Através

dos coeficientes angular e linear da reta, foram calculados os parâmetros a e b da equação, respectivamente.

Os parâmetros da equação de GAB foram encontrados através de uma regressão não-linear dos dados experimentais, utilizando-se o Programa computacional Statistica, versão 5.0, através do método numérico Quasi-Newton.



**Figura 4.3.** Regressão linear do modelo de Henderson, nas temperaturas de 25 (A), 30 (B), 35 (C) e 40 °C (D).

Na Tabela 4.6 são apresentados os parâmetros dos modelos de Henderson e GAB ajustados aos dados experimentais das isotermas de dessorção da casca do abacaxi, para as temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C.



**Tabela 4.6.** Parâmetros dos modelos de Henderson e GAB para a casca do abacaxi a diferentes temperaturas

T (°C)	Casca de abacaxi									
	Henderson					GAB				
	a	b	R	P(%)	X <sub>m</sub>	C	K	R	P(%)	
25	0,601	2,04	0,993	11,53	0,445	0,310	0,896	0,999	11,72	
30	0,680	1,84	0,985	18,15	0,592	0,231	0,899	0,999	14,72	
35	0,461	2,04	0,986	23,58	0,547	0,156	0,907	0,999	11,50	
40	0,603	1,725	0,975	24,70	0,143	1,703	1,012	0,997	8,41	

Verificando a Tabela 4.6, constata-se bom ajuste em todas as temperaturas, sendo o modelo de GAB o que apresentou os maiores coeficientes de correlação (R) exceto para a temperatura de 35 °C. Excetuando-se a temperatura de 25 °C, o parâmetro X<sub>m</sub> diminui com o aumento da temperatura; o mesmo é observado para os valores do parâmetro C, exceto na temperatura de 40 °C. Logo, a melhor representação para os dados experimentais, de maneira geral, foi do modelo de GAB, com os coeficientes variando entre 0,970 a 0,999; o modelo de Henderson variou de 0,975 a 0,993. LAHSASNI *et al.* (2002), estudando as isotermas de dessorção da fruta da palma forrageira (*Opuntia ficus indica*) nas temperaturas de 30, 40 e 50 °C obtiveram, em geral, perfis dos parâmetros semelhantes aos deste trabalho, verificando que, ajustando-se os dados experimentais com o modelo de GAB, o parâmetro X<sub>m</sub> ficou constante nas temperaturas de 30 e 40 °C e diminuiu na temperatura de 50 °C. Estes pesquisadores verificaram que o parâmetro C diminuiu com a temperatura de 30 para 40 °C e voltou a subir na temperatura de 50 °C e o valor de K ficou praticamente constante, em torno de 1.

Na Tabela 4.6 o modelo de GAB obteve bom ajuste aos dados das isotermas para as temperaturas de 25, 35 e 40 °C em toda faixa de atividade de água estudada, não acontecendo o mesmo para a temperatura de 30 °C, o que resultou em valor mais alto de desvio médio relativo (P). Para o modelo de Henderson só a temperatura de 25 °C obteve razoável valor de P (11,53%).

O modelo de BET não apresentou ajuste satisfatório em nenhuma temperatura, logo não foi possível utilizá-lo.

#### 4.4. Isotermas de dessorção da coroa de abacaxi

Os dados obtidos experimentalmente da atividade de água ( $a_w$ ) com suas respectivas umidades de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) em diferentes temperaturas estão apresentados na Tabela 4.7.

**Tabela 4.7.** Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ), em base seca, para a coroa do abacaxi em função da temperatura (T) e da atividade de água ( $a_w$ )

Temperatura (°C)							
25		30		35		40	
$a_w$	$X_{eq}$	$a_w$	$X_{eq}$	$a_w$	$X_{eq}$	$a_w$	$X_{eq}$
0,186	0,0256	0,225	0,054	0,217	0,036	0,209	0,066
0,346	0,060	0,382	0,101	0,492	0,176	0,216	0,092
0,562	0,192	0,515	0,414	0,653	0,287	0,367	0,162
0,755	0,487	0,664	0,616	0,746	0,498	0,537	0,286
0,898	1,528	0,770	0,713	0,837	0,911	0,703	0,583
0,950	2,695	0,848	1,070	0,886	1,393	0,801	1,028
0,958	2,984	0,883	1,510	0,938	2,425	0,871	1,096
0,966	3,531	0,895	1,976			0,901	1,491
		0,919	2,484			0,921	1,786

Observando-se os dados experimentais, verifica-se que a umidade de equilíbrio diminui com a diminuição da atividade de água para as temperaturas estudadas, resultados que concordam com o que ocorre para a maioria dos produtos higroscópicos, tendo sido observado por PRADO *et al.* (1999), GOUVEIA *et al.* (1999, 2004) e SILVA *et al.* (2002) ao avaliarem isotermas de dessorção de tâmaras, gengibre, cajá e manga, respectivamente.

Na Tabela 4.8 são apresentados os parâmetros dos modelos, os coeficientes de correlação (R) e o desvio médio relativo (P) para o ajuste dos dados experimentais das isotermas da coroa do abacaxi nas quatro temperaturas estudadas.

**Tabela 4.8.** Parâmetros das isotermas de dessorção da coroa do abacaxi para os diferentes modelos matemáticos

Modelo	Parâmetro					
	T (°C)	$X_m$	C	n	R	P(%)
BET	25	0,185	0,596	267,408	0,999	4,58
	30	0,214	1,377	400,776	0,993	13,42
	35	0,190	0,680	56,222	0,999	1,51
	40	0,437	0,446	8,387	0,991	7,76
Henderson	T (°C)	a		b	R	P(%)
	25	0,562		1,729	0,949	6,97
	30	0,611		1,496	0,944	17,50
	35	0,615		1,981	0,994	5,81
	40	0,746		1,637	0,905	8,09
GAB	T (°C)	$X_m$	C	K	R	P(%)
	25	0,181	0,621	1,002	0,999	4,95
	30	0,168	7,098	1,015	0,995	19,80
	35	0,185	0,722	1,001	0,999	4,71
	40	0,739	0,524	0,771	0,986	9,21

Analisando-se os dados apresentados na Tabela 4.8, verifica-se que os valores do conteúdo de umidade na monocamada molecular ( $X_m$ ) e da constante relacionada ao calor de sorção da camada molecular (C) das equações de BET e GAB são próximos e apresentaram comportamentos similares. PENA *et al.* (2000) também encontraram valores de  $X_m$  e C semelhantes para os modelos de BET e GAB quando estudaram a aplicação de modelos matemáticos bi e tri-paramétricos na predição de isotermas de adsorção de umidade do guaraná (*Paullinia cupana*) em pó, nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C. Excetuando-se a temperatura de 30 °C, verificou-se que os valores de  $X_m$  aumentaram com o aumento da temperatura. SILVA *et al.* (2002) observaram esta mesma tendência no estudo do processo de dessorção de umidade em polpa de manga e utilizaram o modelo de BET, entre outros, para representar as isotermas. O modelo de GAB descreveu satisfatoriamente as isotermas de dessorção da polpa de banana da variedade prata, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, e os valores do parâmetro  $X_m$  também aumentaram com o aumento da temperatura (GOUVEIA *et al.*, 2004). No entanto, AL-MUHTASEB *et al.* (2004), McLAUGHLIN e MAGEE (1998) relataram a diminuição dos valores do conteúdo de umidade da monocamada com o aumento

da temperatura, afirmando que esta tendência pode ser explicada pela variação do estado de agitação, distância e atração entre as moléculas de água com a variação da temperatura. PALIPANE e DRISCOLL (1992) também sugeriram que com o aumento da temperatura algumas moléculas de água podem romper fora de seus sítios de sorção, causando então um abaixamento dos valores de  $X_m$ , ao invés de uma elevação, quando há um aumento de temperatura.

Com relação aos valores de  $C$ , não foi verificado nenhuma tendência dependente da variação de temperatura, apesar de os dois modelos apresentarem exatamente o mesmo comportamento. SAMAPUNDO *et al.* (2006) também não encontraram nenhuma relação dependente de  $C$  com a temperatura, para o modelo de GAB. O parâmetro  $K$  do modelo de GAB apresentou valores praticamente constantes e em torno de 1, exceto para a temperatura de 40 °C que apresentou um valor de 0,771.

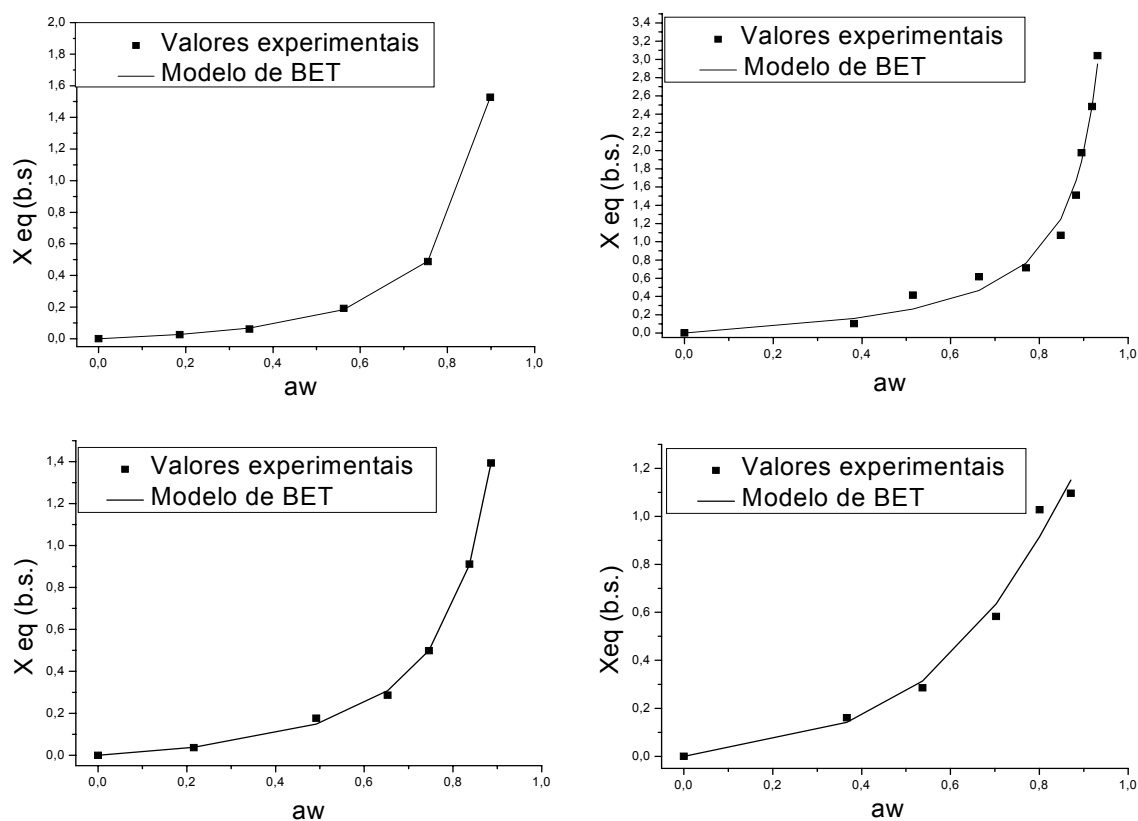
O valor médio do parâmetro “a” do modelo de Henderson foi de 0,6335 com um desvio padrão  $\pm 0,204$ . Verificou-se discreto aumento dos valores do parâmetro “a” com o aumento da temperatura. Com relação aos valores do parâmetro “b”, também não foram observados grandes variações com o aumento da temperatura. Dessa forma pode-se deduzir que não houve, praticamente, influência da temperatura sobre os parâmetros a e b do modelo de Henderson.

De acordo com os resultados dos valores do coeficiente de correlação ( $R$ ) e do percentual do erro médio relativo ( $P$ ), o modelo de BET descreveu melhor as isotermas de dessorção da coroa do abacaxi, nas temperaturas estudadas, resultado este também obtido por MOHAMED *et al.* (2005) no estudo das isotermas de sorção de laranja (*Citrus aurantium*) nas temperaturas de 30, 40 e 50 °C. Os modelos de GAB e Henderson também se ajustaram satisfatoriamente aos dados experimentais, podendo ser utilizados para o cálculo da umidade de equilíbrio higroscópico da coroa do abacaxi.

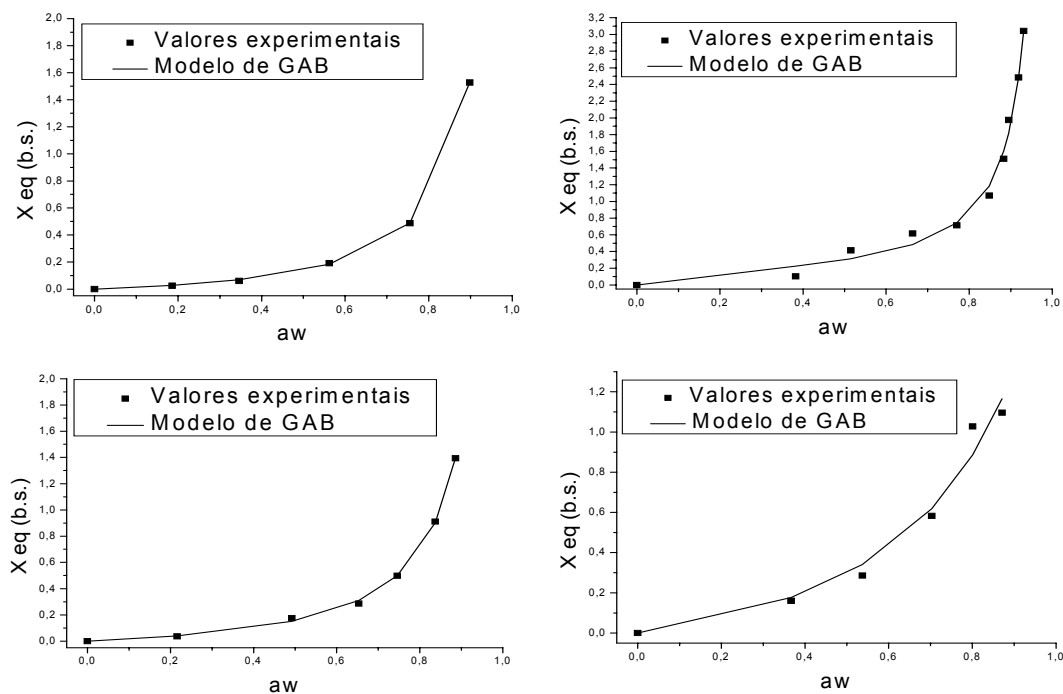
Com relação à isoterma de 30 °C, todos os três modelos apresentarem altos valores de  $P$ , apesar de também apresentar elevados valores de  $R$ .

As Figuras 4.4, 4.5 e 4.6 representam graficamente a relação entre a atividade de água ( $a_w$ ) e a umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ), em diferentes temperaturas,

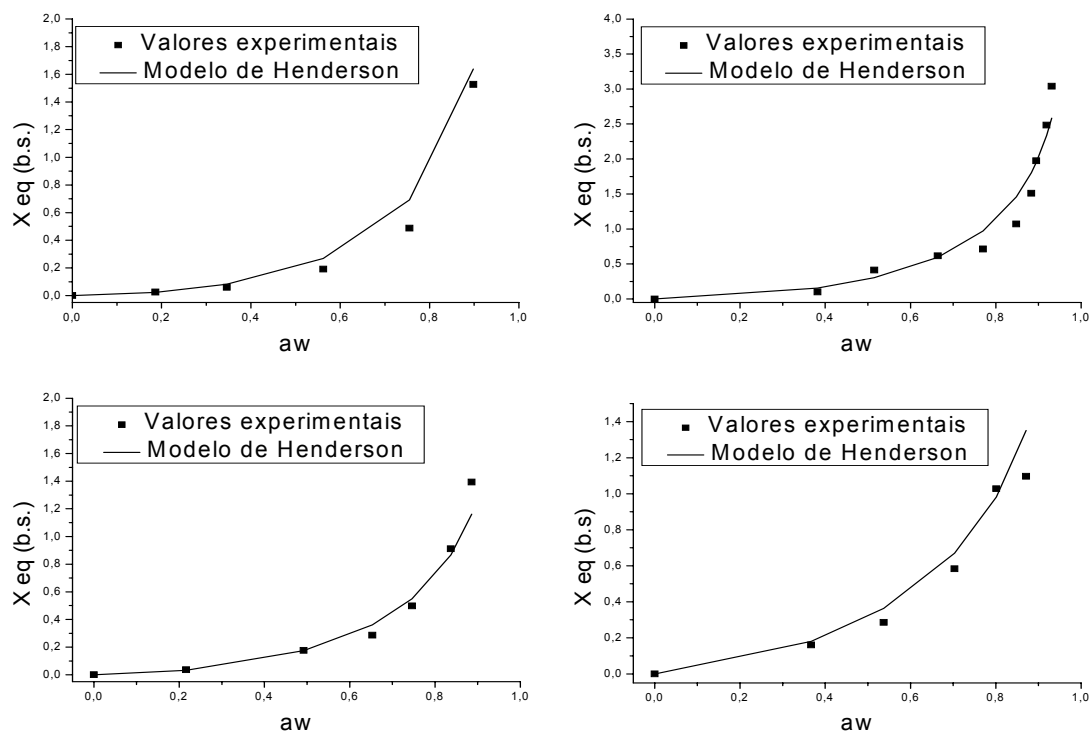
ajustadas pelas equações de BET, GAB e Henderson, respectivamente para a coroa de abacaxi.



**Figura 4.4.** Isotermas de dessorção da coroa do abacaxi nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C, ajustadas pelo modelo matemático de BET.



**Figura 4.5.** Isotermas de dessorção da coroa do abacaxi nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C, ajustadas pelo modelo matemático de GAB.



**Figura 4.6.** Isotermas de dessorção da coroa do abacaxi nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C, ajustadas pelo modelo matemático de Henderson.

Nas Figuras 4.4 e 4.5 observa-se bom ajuste dos modelos aos dados das isotermas para as temperaturas de 25 e 35 °C em toda a faixa de atividade de água estudada. No entanto para a temperatura de 30 °C os modelos não se ajustaram bem para valores de  $a_w$  baixos, o que resultou em valores altos de desvio médio relativo (P). Para o modelo de BET o valor de P foi de 13,42% e para o modelo de GAB foi de 19,80%. O modelo de Henderson, apesar de ser bi paramétrico, ajustou-se razoavelmente bem aos dados (Figura 4.6).

As formas das isotermas obtidas nas temperaturas estudadas seguem sempre o tipo III de classificação de BET, em forma de J. Essas formas são típicas de produtos com altas concentrações de açúcares e solutos e que apresentam pouca adsorção por capilaridade (PARK e NOGUEIRA, 1992).

#### 4.5. Isotermas de dessorção da casca de maracujá

Os dados obtidos experimentalmente da atividade de água ( $a_w$ ) com suas respectivas umidades de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) em diferentes temperaturas estão apresentados na Tabela 4.9 e representados graficamente na Figura 4.7.

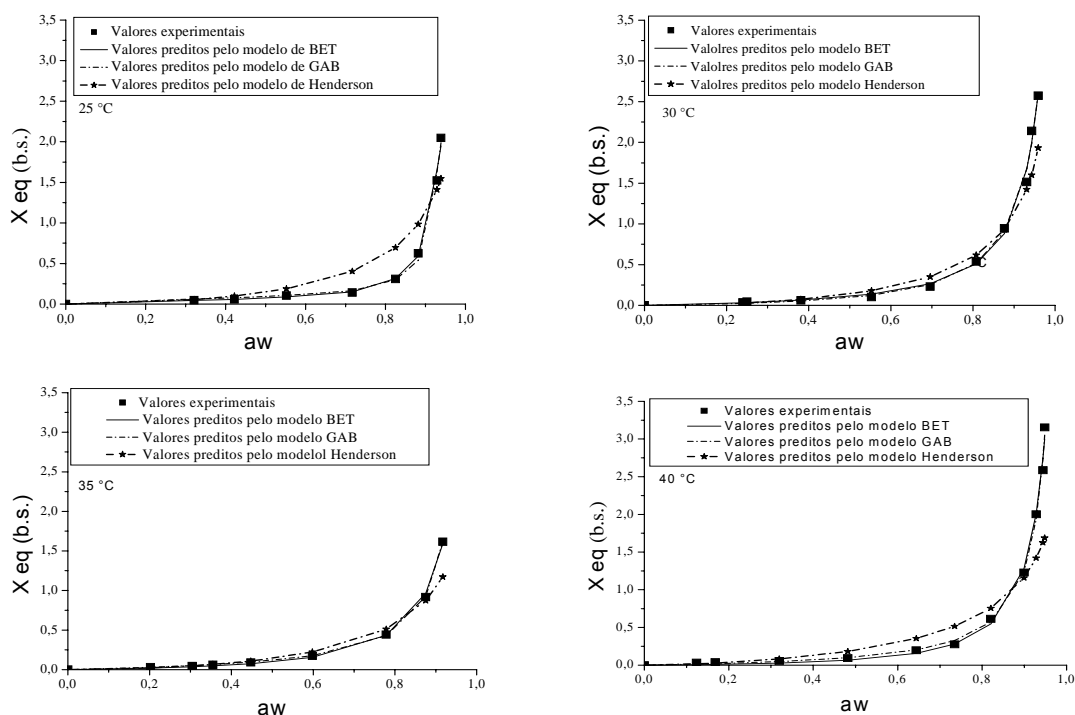
**Tabela 4.9.** Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ), em base seca, para a casca do maracujá em função da temperatura (T) e da atividade de água ( $a_w$ )

Temperatura (°C)							
25		30		35		40	
$a_w$	$X_{eq}$	$a_w$	$X_{eq}$	$a_w$	$X_{eq}$	$a_w$	$X_{eq}$
0	0	0	0	0	0	0	0
0,321	0,047	0,249	0,044	0,202	0,031	0,319	0,056
0,422	0,057	0,381	0,060	0,304	0,045	0,482	0,092
0,552	0,104	0,553	0,102	0,355	0,061	0,644	0,197
0,717	0,141	0,696	0,229	0,447	0,090	0,735	0,276
0,825	0,309	0,808	0,538	0,598	0,175	0,820	0,614
0,882	0,624	0,876	0,945	0,779	0,441	0,899	1,229
0,929	1,523	0,931	1,515	0,875	0,917	0,928	2,002
				0,917	1,616		

Na Figura 4.7, apesar das restrições do uso do modelo de BET para atividade de água ( $a_w$ ) acima de 0,6, pode-se verificar que neste caso o modelo ajusta os dados experimentais nas quatro temperaturas estudadas, com valores

de  $R$  variando de 0,996 a 0,999. Para o modelo de GAB observa-se que houve um bom ajuste para toda a faixa de temperatura estudada, sendo os valores de  $R$  acima de 0,997. E para o modelo de Henderson, observa-se que, em geral, não houve um bom ajuste entre a faixa de  $a_w$  de 0,45 e 0,85 na faixa das quatro temperaturas estudadas, sendo os valores de  $R$  entre 0,954 e 0,990.

As isotermas apresentam comportamento típico de isoterma do tipo III, de acordo com classificação da IUPAQ (1985). Segundo ORDÓÑEZ (2005) essas curvas que apresentam uma zona mais plana na primeira parte da curva, ou seja, em forma de J, são típicas de alimentos com grande quantidade de açúcar e solutos e que têm pouca adsorção por capilaridade, como as frutas e os doces de frutas.

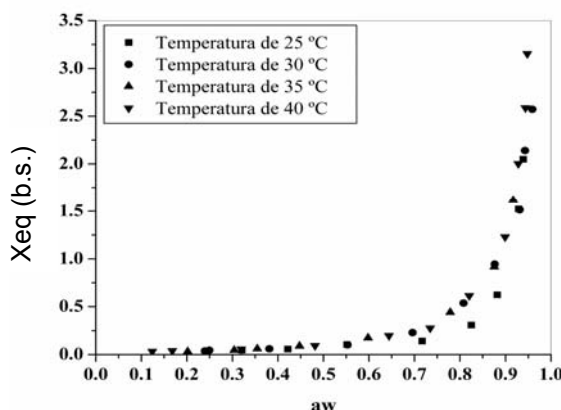


**Figura 4.7.** Isotermas de dessorção da casca de maracujá nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C, ajustadas pelos modelos matemáticos de BET, GAB e Henderson.

A Figura 4.8 apresenta os pontos experimentais das isotermas de dessorção que estão praticamente sobrepostos nas quatro temperaturas estudadas, excetuando-se alguns pontos que estão abaixo dos demais, que são três da



isoterma na temperatura de 25 °C, na faixa de  $a_w$  0,7 a 0,9 e dois pontos da isoterma a 30 °C, valores acima de  $a_w$  de 0,9. Então, verifica-se pouco efeito da temperatura sobre as quatro isotermas, podendo ser justificado pela pequena variação nos níveis de temperatura estudada (25 a 40 °C), temperaturas que foram utilizadas no estudo do enriquecimento nutricional do resíduo por microrganismos. Em geral, a umidade de equilíbrio diminui com o aumento da temperatura. A diminuição da umidade de equilíbrio com o aumento da temperatura pode ser justificada com base no aumento da pressão de vapor da água no ar e na superfície do produto. Este aumento é maior na superfície do produto, pois a mesma apresenta maior número de moléculas de água que o ar. Maior pressão de vapor implica em maior perda de água, para que se atinja o equilíbrio (FERREIRA e PENA, 2003). KECHAOU e MAALEJ (1999) ao estudarem as características de dessorção de banana na temperatura de 80 °C, observaram que há uma pequena diminuição da umidade de equilíbrio com o aumento da temperatura. Segundo esses pesquisadores tal fato pode ser explicado devido à dissolução dos açúcares da fruta, que aumenta significativamente quando a temperatura aumenta. GABAS (1998) e ADAM *et al.* (2000) obtiveram resultados equivalentes em estudo das isotermas de uva com a temperatura de 20 °C.



**Figura 4.8.** Isotermas de dessorção da casca de maracujá nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C.

Segundo GOULD (1989), a faixa ótima de atividade de água para o crescimento da levedura (*Saccharomyces cerevisiae*), que foi utilizada no processo de enriquecimento nutricional da casca de maracujá, está entre 0,9 e

0,99. Através da correlação atividade de água e umidade de equilíbrio apresentada na Figura 4.8, verifica-se que o processo de fermentação semi-sólida deverá ser operado com uma umidade inicial acima de 5,34 (base seca), que corresponde a uma umidade acima de 90% (base úmida); caso contrário, o crescimento do microrganismo será inibido, podendo não se desenvolver.

E para o armazenamento da casca de maracujá *in natura*, não se utilizando de aditivos e nem de refrigeração, é necessário, portanto, que a faixa ideal de atividade de água residual deva estar compreendida entre 0,25 a 0,35, o que corresponde a uma umidade (base seca) abaixo de 0,05, equivalendo a uma umidade (base úmida) de 5,3%, eliminando, desta forma, qualquer crescimento de microrganismos (SANTIN, 1996).

Na Tabela 4.10 são apresentados os parâmetros do modelo de BET, GAB e Henderson para o ajuste dos dados experimentais das isotermas da casca de maracujá para as temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C.

**Tabela 4.10.** Parâmetros de ajuste das isotermas de dessorção da casca do maracujá para os diferentes modelos matemáticos

Modelo	Parâmetro					
	T (°C)	$X_m$	C	n	R	P (%)
BET	25	0,127	0,914	460	0,996	5,33
	30	0,130	0,719	77	0,997	11,37
	35	0,160	0,427	396	0,999	13,05
	40	0,194	0,223	1803	0,998	22,50
GAB	T (°C)	$X_m$	C	K	R	P (%)
	25	0,094	2,488	1,015	0,997	12,46
	30	0,191	0,348	0,978	0,997	13,26
	35	0,109	1,065	1,021	0,999	3,56
	40	0,122	0,719	1,015	0,998	15,52
Henderson	T (°C)	a	b		R	P (%)
	25	0,591	2,160		0,990	63,35
	30	0,578	2,183		0,981	25,23
	35	0,604	2,262		0,988	15,57
	40	0,675	2,078		0,954	44,19

Na Tabela 4.10 para o modelo de BET, observa-se que o parâmetro  $X_m$  aumenta com o aumento da temperatura, e o parâmetro C apresenta comportamento contrário, ou seja, diminui com o aumento da temperatura. E n

aumenta com o aumento da temperatura, exceto para a temperatura de 25 °C. Para o modelo de GAB, a fração de umidade na monocamada ( $X_m$ ) e C apresentam o mesmo comportamento verificado no modelo de BET, ou seja,  $X_m$  cresce com o aumento da temperatura e C decresce quando a temperatura é aumentada, exceto para a temperatura de 30 °C. O valor de K ficou praticamente constante, em torno de 1. Os parâmetros a e b do modelo de Henderson ficaram em torno de 0,6 e 2,0, respectivamente.

Na Tabela 4.10 encontram-se também os coeficientes de correlação (R) e o parâmetro P dos modelos ajustados às isotermas de dessorção da casca do maracujá nas quatro temperaturas estudadas, e, de acordo com esses resultados, todos os modelos testados descrevem com boa precisão as isotermas de dessorção nas diferentes temperaturas, sendo o modelo de GAB o que melhor apresentou, em média, maior valor de R e menor valor de P. LOMAURO *et al.* (1985) verificaram que a equação de GAB pode representar bem as isotermas em mais de 50% de frutas quando comparadas com equações de dois parâmetros, sendo assim amplamente utilizada para descrever isotermas de sorção de diversos produtos; fato também constatado por GABAS (1998) em estudos realizados com a uva Itália, testando vários modelos matemáticos para o ajuste dos dados nas temperaturas de 35 a 75 °C e atividades de água de 0,10 a 0,90, concluindo que GAB foi o que melhor ajustou as isotermas.

#### 4.6. Conclusões

- Em geral, para as isotermas dos resíduos Caa e Cam analisados, o modelo de GAB foi o mais satisfatório, o que ajustou melhor os dados experimentais das isotermas nas temperaturas em estudo, em toda a faixa estudada de  $a_w$ .
- Para as isotermas do resíduo Coa analisado, o modelo de BET foi o mais satisfatório, o que ajustou melhor os dados experimentais das isotermas nas temperaturas em estudo, em toda a faixa estudada de  $a_w$ .
- Através do estudo das isotermas dos três resíduos, observou-se que a atividade de água ótima para o crescimento da levedura, no processo de

enriquecimento, está em torno de 0,90. Assim, devem-se iniciar o processo de fermentação do enriquecimento nutricional com umidade inicial do substrato acima de 60% (b.u.), para todas as quatro temperaturas dos resíduos estudados.

## Capítulo 5 – Resultados e Discussão

### Estudo da Cinética Fermentativa dos resíduos

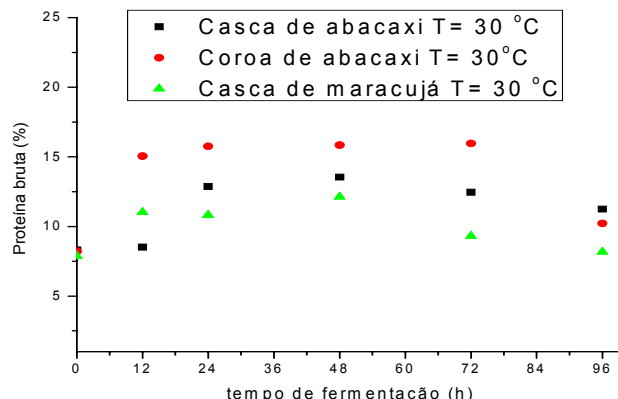
Este capítulo tem o objetivo de apresentar o estudo cinético do processo de enriquecimento nutricional, utilizando-se a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, durante a fermentação semi-sólida, avaliando-se assim, o tempo necessário de fermentação, a concentração de levedura ( $C_L$ ) e a temperatura (T), para se obter o produto final com maior teor de proteína bruta (PB). Os tempos analisados foram de 12, 24, 48, 72 e 96 h.

Através do estudo apresentado no Capítulo 4, sobre atividade de água dos resíduos analisados, foi possível constatar que a atividade de água encontrada para se trabalhar com estes resíduos é acima de 0,90 que corresponde a uma umidade acima de 60% em base úmida. Com isso, no estudo da cinética fermentativa, foram iniciados os processos de enriquecimento protéico com atividade de água, nos resíduos analisados, acima de 0,90.

#### 5.1. Estudo cinético do enriquecimento protéico dos resíduos Caa, Coa e Cam

Nas Tabelas 5.1 a 5.5 e nas Figuras 5.1 a 5.5 têm-se os dados das cinéticas do processo de fermentação semi-sólida para o enriquecimento protéico dos resíduos Caa, Coa e Cam. O objetivo deste estudo é determinar o tempo que produz o maior aumento protéico (AP); este tempo deve ser fixado para o estudo posterior da verificação dos efeitos das variáveis de entrada sobre as respostas, utilizando-se do planejamento fatorial.

A Figura 5.1 ilustra o estudo cinético da fermentação semi-sólida objetivando determinar o tempo ideal de teor de proteína bruta (PB) e analisando conseqüentemente o aumento protéico (AP) para a casca de abacaxi (Caa), coroa de abacaxi (Coa) e casca de maracujá (Cam), fixando a concentração de levedura em 1% e temperatura em 30 °C.



**Figura 5.1.** Cinética do enriquecimento protéico na  $C_L = 1\%$  e  $T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

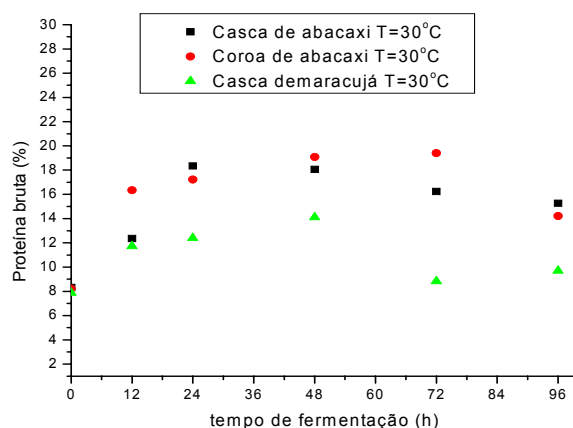
Na Figura 5.1 e na Tabela 5.1 observa-se que, nos três resíduos analisados, o teor de proteína bruta (PB) *in natura* para a casca de abacaxi (Caa) foi de 8,31%, coroa de abacaxi (Coa) de 8,21% e casca de maracujá (Cam) de 7,88%, em base seca. O comportamento da PB da fermentação para o resíduo Caa, para o período entre 0 e 12 h foi quase constante, em seguida foi aumentando até 48 h quando atingiu o ápice da PB. Depois desse tempo, a PB começou a decrescer até o tempo de 96 h. Para os resíduos Coa e Cam no tempo de 12 h já houve um aumento acentuado de %PB e aumentou um pouco até o tempo de 48 horas. Mas o prolongamento da fermentação para Coa permaneceu quase constante até o tempo de 72 h e decaiu no tempo de 96 h. Em relação a Cam depois de 48 h, houve um acentuada diminuição. Segundo ARAÚJO (2004), essa diminuição pode ser atribuída a uma provável volatilização do  $N_2$ , produção de amônia (contaminação de bactérias) e desnaturação da proteína do microrganismo.

**Tabela 5.1.** Valores dos teores de proteína bruta dos resíduos nos tempos de fermentação,  $C_L = 1\%$  e  $T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$

Tempo de fermentação (h)	PB (%) de Caa	PB (%) de Coa	PB (%) de Cam
0 ( <i>in natura</i> )	8,31	8,21	7,88
12	8,52	15,05	11,03
24	12,87	15,76	10,81
<b>48</b>	<b>13,54</b>	<b>15,84</b>	<b>12,12</b>
72	12,46	15,97	9,31
96	11,25	10,21	8,17

A Figura 5.2 ilustra o estudo cinético da fermentação semi-sólida objetivando determinar o tempo ideal do processo que maximiza o teor de proteína bruta (PB)

e analisando conseqüentemente o aumento protéico (AP) para a casca de abacaxi (Caa), coroa de abacaxi (Coa) e casca de maracujá (Cam), fixando a concentração de levedura de 5% e temperatura de 30 °C.



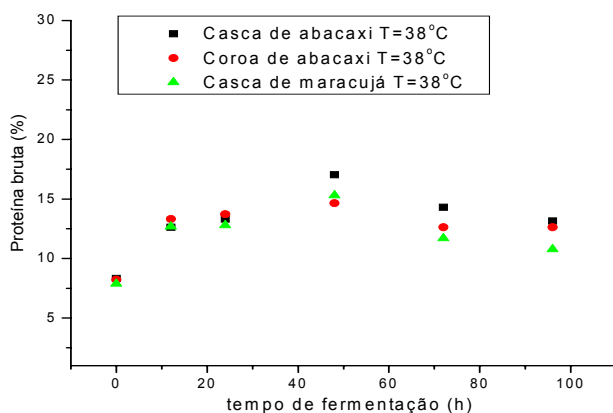
**Figura 5.2.** Cinética do enriquecimento protéico na  $C_L = 5\%$  e  $T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Na Tabela 5.2 e na Figura 5.2 observa-se que a Caa apresenta efeito rápido de fermentação nos tempos de 12 e 24 h, atingindo no tempo de 24 h a PB de 18,34%. Quando a fermentação prossegue até o tempo de 48 h a PB diminui para 18,05%, aí começa a diminuir nos tempos seguintes, chegando ao tempo de 96 h, com um teor de 15,27%. A Coa apresenta um aumento crescente até o tempo de 72 h, mas como o aumento entre os tempos de 48 e 72 h foram similares para diminuir e reduzir gastos, prevaleceu o tempo de 48 h. Já em relação ao resíduo Cam, o comportamento da fermentação apresentado mostra um aumento até 48 h, no qual se atingiu o maior %PB, e depois diminuiu até 72 h, e voltou a aumentar até o tempo de 96 h.

**Tabela 5.2.** Valores dos teores de proteína bruta dos resíduos nos tempos de fermentação,  $C_L = 5\%$  e  $T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$

Tempo de fermentação (h)	PB (%) de Caa	PB (%) de Coa	PB (%) de Cam
0 ( <i>in natura</i> )	8,31	8,21	7,88
12	12,35	16,34	11,72
24	18,34	17,21	12,39
<b>48</b>	<b>18,05</b>	<b>19,08</b>	<b>14,10</b>
72	16,24	19,41	8,82
96	15,27	14,21	9,70

A Figura 5.3 apresenta o estudo cinético da fermentação semi-sólida objetivando determinar o tempo ideal de teor de proteína bruta (PB) e analisando-se, conseqüentemente, o aumento protéico (AP) para a casca de abacaxi (Caa), coroa de abacaxi (Coa) e casca de maracujá (Cam), fixando a concentração de levedura em 1% e temperatura em 38 °C.



**Figura 5.3.** Cinética do enriquecimento protéico na  $C_L = 1\%$  e  $T = 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

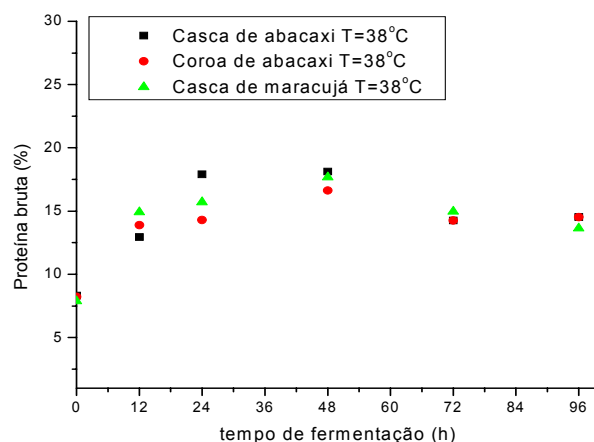
Pelas Figura 5.3 e Tabela 5.3 foram observados os comportamentos similares dos enriquecimentos protéicos para os três resíduos Caa, Coa e Cam, começando a partir dos resíduos *in natura* e depois do enriquecimento protéico (processo). Os resíduos apresentam, no tempo de até 12 h, um rápido aumento de teor de proteína bruta (PB), e até o tempo de 24 h, aconteceu um pequeno enriquecimento protéico (quase constante), e depois chegou ao ápice do enriquecimento no tempo de 48 h. Após este tempo, o teor de proteína diminuiu até 96 h.

**Tabela 5.3.** Valores dos teores de proteína bruta dos resíduos nos tempos de fermentação,  $C_L = 1\%$  e  $T = 38\text{ }^{\circ}\text{C}$

Tempo de fermentação (h)	PB (%) de Caa	PB (%) de Co	PB (%) de Cam
0 ( <i>in natura</i> )	8,31	8,21	7,88
12	12,63	13,32	12,68
24	13,32	13,72	12,79
<b>48</b>	<b>17,03</b>	<b>14,64</b>	<b>15,29</b>
72	14,30	12,62	11,70
96	13,15	12,62	10,78



A Figura 5.4 ilustra o estudo cinético da fermentação semi-sólida dos três resíduos, com a concentração de levedura de 5% e temperatura de 38 °C.



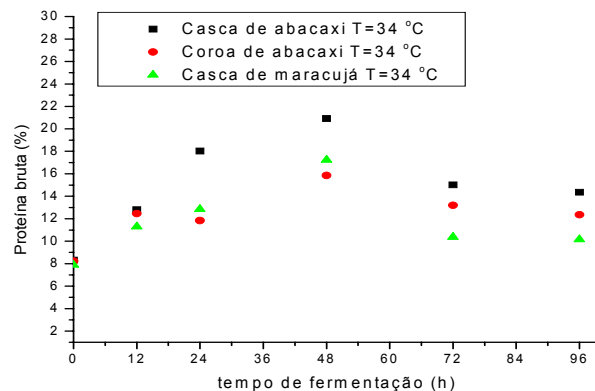
**Figura 5.4.** Cinética do enriquecimento protéico na  $C_L = 5\%$  e  $T = 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Na Figura 5.4 e na Tabela 5.4 são apresentados os comportamentos dos resíduos (Caa, Coa e Cam) analisados, e foi verificado que houve um aumento de teor de proteína (PB), depois do enriquecimento protéico até o tempo de 48 h. Após este tempo, houve uma diminuição do teor de proteína bruta (PB) até 96 h.

**Tabela 5.4.** Valores dos teores de proteína bruta dos resíduos nos tempos de fermentação,  $C_L = 5\%$  e  $T = 38\text{ }^{\circ}\text{C}$

Tempo de fermentação (h)	PB (%) de Caa	PB (%) de Coa	PB (%) de Cam
0 ( <i>in natura</i> )	8,31	8,21	7,88
12	12,95	13,88	14,91
24	17,91	14,29	15,71
<b>48</b>	<b>18,12</b>	<b>16,62</b>	<b>17,67</b>
72	14,25	14,25	14,96
96	14,53	14,53	13,63

A Figura 5.5 apresenta o estudo cinético da fermentação semi-sólida para a casca de abacaxi (Caa), coroa de abacaxi (Coa) e casca de maracujá (Cam), fixando a concentração de levedura em 3% e temperatura em 34 °C.



**Figura 5.5.** Cinética do enriquecimento protéico na  $C_L = 3\%$  e  $T = 34\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Na Figura 5.5 e a Tabela 5.5 observa-se que, nos três resíduos analisados, o teor de proteína bruta *in natura* para Caa foi de 8,31%, Coa de 8,21% e Cam de 7,88%, em base seca. A Caa e Cam apresentam comportamento similares durante todo o tempo de enriquecimento protéico no processo. Nos tempos de 12, 24 e 48 h, nota-se que houve um aumento rápido de teor de proteína até 48 h, depois aconteceu uma diminuição até 72 h e logo após este tempo, observa-se que teve uma diminuição leve de PB. Para o resíduo da coroa de abacaxi (Coa), nota-se que houve um aumento de PB até o tempo de 12 h, depois aconteceu uma diminuição deste teor no tempo de 24 h; após este tempo, a Coa atinge o ápice do enriquecimento protéico em 48 h e voltando a diminuir PB nos tempos seguintes até 96 h. Esta oscilação do teor de proteína bruta em relação a Coa deve ser provavelmente, neste estudo, a não homogeneidade (nesta amostra foi detectada que a trituração não foi bem homogeneizada, para se fazer a análise de proteína bruta), por isso, no tempo de 12 h, apresentou um teor de 12,45%, em 24 h de 11,83% e no de 48 h, de 15,86%. Depois houve uma diminuição gradativa nas horas seguintes durante o processo de enriquecimento protéico.

**Tabela 5.5.** Valores dos teores de proteína bruta dos resíduos nos tempos de fermentação,  $C_L = 3\%$  e  $T = 34\text{ }^\circ\text{C}$

Tempo de fermentação (h)	PB (%) de Caa	PB (%) de Coa	PB (%) de Cam
0 ( <i>in natura</i> )	8,31	8,21	7,88
12	12,8	12,45	11,3
24	18,02	11,83	12,84
<b>48</b>	<b>20,91</b>	<b>15,86</b>	<b>17,23</b>
72	15,01	13,2	10,37
96	14,35	12,35	10,15

## 5.2. Considerações gerais

Em todos os experimentos realizados, o tempo em que se foi observado os melhores valores de PB, para os três resíduos estudados, foi de 48 h. Vale salientar que houve experimentos em que o teor de PB apresentado pelos resíduos no tempo de 72 h foi superior ao tempo de 48 h, no entanto, o que se pretende neste estudo é a otimização do processo, minimizando gastos e tempo. Como o aumento da PB entre esse tempo foi mínimo, admite-se que o tempo de 48 h foi o melhor tempo de fermentação para os três resíduos.

## 5.3. Conclusão

- O tempo de fermentação, em geral, foi de 48 h. Por conseguinte, este tempo será fixado para o estudo posterior do processo de fermentação semi-sólida.

## Capítulo 6 – Resultados e Discussão

### Estudo do Planejamento Fatorial para Otimizar o Enriquecimento Protéico dos Resíduos Caa, Coa e Cam

Neste capítulo está apresentado o estudo do planejamento fatorial mais configuração estrela dos resíduos da casca de abacaxi (Caa), coroa de abacaxi (Coa) e casca de maracujá (Cam), visando otimizar o enriquecimento protéico desses resíduos utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, durante 48 h de processamento (melhor tempo de enriquecimento). As variáveis analisadas (variáveis de entrada) são concentração de levedura ( $C_L$ ) e temperatura do processo (T). As variáveis de respostas são a proteína bruta (PB) e o aumento protéico (AP).

#### 6.1. Planejamento fatorial mais configuração estrela dos resíduos Caa, Coa e Cam

Inicialmente foram feitas as matrizes do planejamento fatorial  $2^2$  utilizadas no estudo do enriquecimento nutricional dos resíduos, mas os resultados não foram os esperados, não sendo possível visualizar os valores máximos das respostas. Portanto, foi necessário ampliar este planejamento com a configuração estrela, que teve o intuito de otimizar o processo ampliando os níveis das variáveis de entrada (C e T). Nas Tabelas 6.1, 6.4 e 6.7 são apresentados o planejamento fatorial mais a configuração estrela, dos resíduos Caa, Coa e Cam, respectivamente.

##### 6.1.1. Casca de abacaxi

Na Tabela 6.1 é apresentada a matriz de planejamento fatorial mais configuração estrela, com as respostas de teor de proteína bruta (PB) e o teor de aumento protéico (AP) do resíduo casca de abacaxi (Caa).

**Tabela 6.1.** Matriz do planejamento fatorial mais configuração estrela e os resultados das respostas para casca de abacaxi

Experimento	PB <i>in natura</i> (%)	T (°C)	C (%)	PB (%)	AP (%)	AP
1	8,21	-1	-1	12,36	151	1,51
2	10,55	+1	-1	15,80	150	1,50
3	8,21	-1	+1	16,53	201	2,01
4	10,55	+1	+1	21,37	203	2,03
5	6,88	0	0	17,93	261	2,61
6	6,88	0	0	17,86	260	2,60
7	6,88	0	0	17,75	258	2,58
8	8,39	0	-1,4142	12,00	143	1,43
9	8,39	1,4142	0	20,80	248	2,48
10	8,39	0	1,4142	24,66	294	2,94
11	8,39	-1,4142	0	8,85	105	1,05

Foi realizada uma análise de regressão múltipla para se obter os coeficientes dos modelos. Considerando que um valor de probabilidade de 95% de confiança é satisfatório ( $p < 0,05$ ), foi possível estabelecer um modelo matemático, mostrando a influência das variáveis em função do teor de proteína bruta e aumento protéico. O teor de proteína bruta (PB) e o aumento protéico (AP) foram expressos em função das variáveis independentes pelo modelo matemático de 2ª ordem, representados pelas Equações 6.1 e 6.2, respectivamente. Os coeficientes dos modelos que tiveram efeitos significativos nas respostas, ao nível de 95% de confiança, estão destacados em negrito no modelo.

$$\text{PB} = 17,85 + 3,15 \text{ T} + 3,46 \text{ C}_L + 0,35 \text{ T C}_L - 1,53 \text{ T}^2 + 0,23 \text{ C}_L^2 \quad (6.1)$$

$$\text{AP} = 2,6 + 0,25 \text{ T} + 0,4 \text{ C}_L - 0,47 \text{ T}^2 - 0,26 \text{ C}_L^2 \quad (6.2)$$

em que: PB - Proteína bruta (%)

AP - Aumento protéico

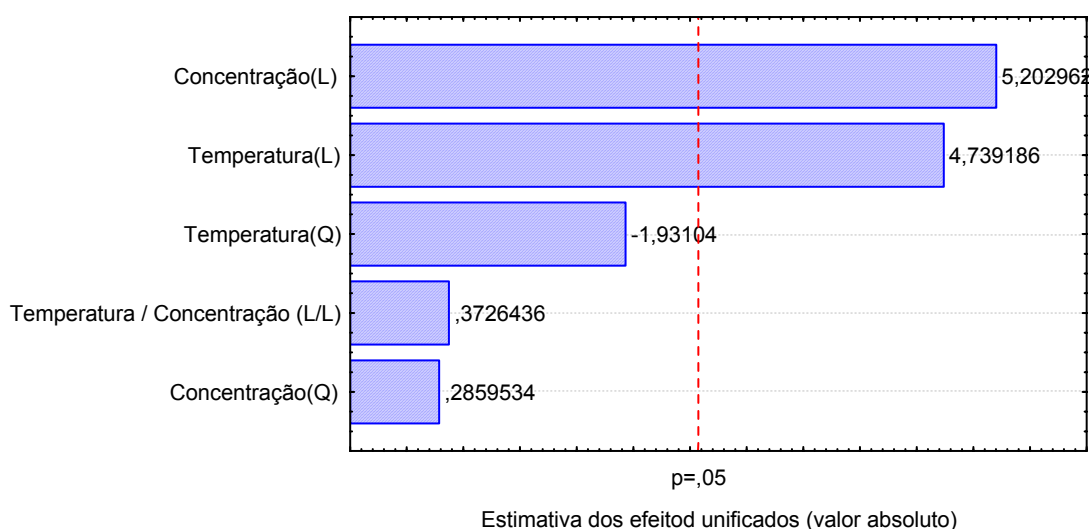
T - Temperatura (°C)

C<sub>L</sub> - Concentração de leveduras (%)

T x C<sub>L</sub> - Interação de temperatura e concentração de levedura

Para melhor visualização, nas Figuras 6.1 e 6.2 são apresentados os gráficos de Pareto para o teor de proteína e aumento protéico, respectivamente; com nível de confiança de 95% para o cálculo dos efeitos múltiplos principais e os efeitos de

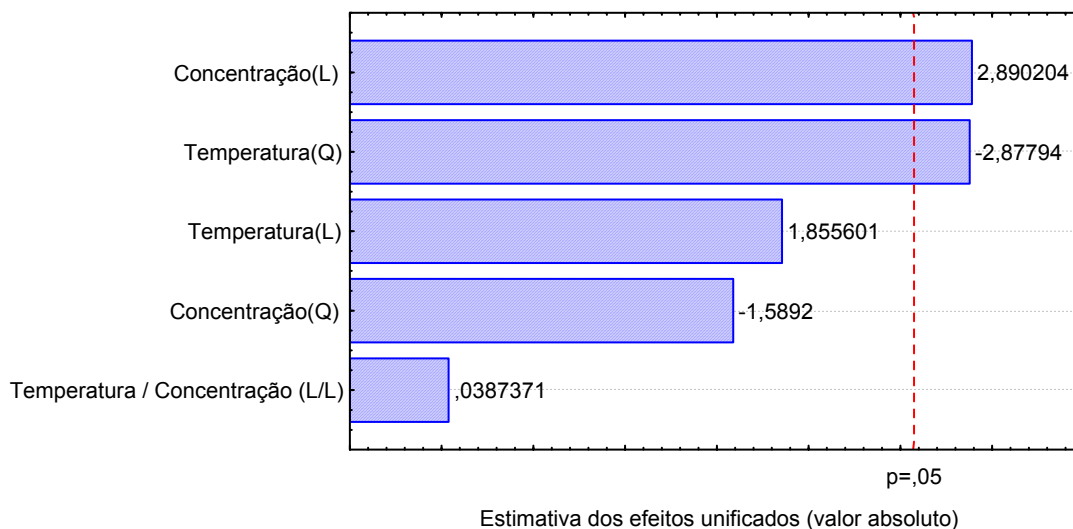
2ª ordem para valores absolutos. A magnitude de cada efeito é representada através das barras e a linha tracejada corresponde ao valor de  $p = 0,05$  que indica o quanto deve ser grande o efeito para ter significado estatístico. Na Figura 6.1 no gráfico de Pareto a concentração de levedura (L) e a temperatura (L) foram os parâmetros que tiveram efeitos significativos. Já a concentração de levedura (Q), temperatura (Q) e a interação de concentração e temperatura (L/L) não obtiveram efeitos significativos. Na Figura 6.2 a concentração de levedura (L) e temperatura (Q) foram os únicos parâmetros que tiveram efeito significativo.



**Figura 6.1.** Gráfico de Pareto para o teor de proteína bruta da Caa.

Onde : L = linear

Q = quadrático.



**Figura 6.2.** Gráfico de Pareto para o teor de aumento protéico da Caa.

Os resultados da ANOVA são apresentados nas Tabelas 6.2 e 6.3 para os teores de proteína bruta e aumento protéico, respectivamente. A análise de variância (ANOVA) para o modelo foi realizada com um nível de 95% de confiança ( $p < 0,05$ ). O ajuste do modelo também foi expresso pelo coeficiente de variação explicada ( $R^2$ ), que foi igual a 0,92 e 0,81, para os teores de proteína bruta e aumento protéico, respectivamente. Esses modelos de regressão prevêem uma explicação da relação entre as variáveis independentes: concentração de levedura e temperatura e as respostas (PB e AP) (RAVIKUMAR *et al.*, 2007).

**Tabela 6.2.** Resultados da ANOVA para proteína bruta (PB) da casca de abacaxi

	SQ	GL	QM	F <sub>cal</sub>	p
<b>Temperatura (L)</b>	<b>79,2531</b>	<b>1</b>		<b>22,45989</b>	<b>0,005154</b>
Temperatura (Q)	13,1581	1		3,72892	0,111341
<b>Concentração (L)</b>	<b>95,5235</b>	<b>1</b>		<b>27,07081</b>	<b>0,003459</b>
Concentração (Q)	0,2885	1		0,08177	0,786382
Temp./ Conc. (L/L)	0,4900	1		0,13886	0,724688
Regressão	191,2412	5	38,25	10,84*	
Resíduo	17,64	5	3,53		
Falta de ajuste	17,6268	3		713,64	0,001400
Erro puro	0,0165	2			
<b>F<sub>cal</sub> / F<sub>tab</sub></b>				<b>2,15</b>	
<b>Total</b>	<b>208,8845</b>	<b>10</b>			

\*Significativo ao nível de 95% ; F<sub>tab, 5,5</sub> = 5,05; F<sub>cal</sub> > F<sub>tab</sub> estatisticamente significativo.

**Tabela 6.3.** Resultados da ANOVA para o aumento protéico (AP) da casca de abacaxi

	SQ	GL	MQ	F <sub>cal</sub>	p
Temperatura (L)	0,516293	1		3,443256	0,122662
<b>Temperatura (Q)</b>	<b>1,241912</b>	<b>1</b>		<b>8,282541</b>	<b>0,034671</b>
<b>Concentração (L)</b>	<b>1,252519</b>	<b>1</b>		<b>8,353282</b>	<b>0,034179</b>
Concentração (Q)	0,378688	1		2,525544	0,172885
Temp./Conc. (L/L)	0,000225	1		0,001501	0,970599
Regressão	3,101501	4	0,775	6,2*	
Resíduo	0,749717	6	0,125		
Falta de ajuste	0,749250	4		1070,357	0,000934
Erro puro	0,000467	2			
<b>F<sub>cal</sub> / F<sub>tab</sub></b>				<b>1,38</b>	
Total	3,851218	10			

\*Significativo ao nível de 95% ; F<sub>tab, 4,6</sub> = 4,5; F<sub>cal</sub> > F<sub>tab</sub> estatisticamente significativo.

O teste F é usado para investigar se o modelo explica uma quantidade significativa da variação nos valores experimentais. Com relação a PB e AP, observa-se que o modelo é estatisticamente significativo ao nível de 95% de confiança. Pode-se observar que houve um aumento protéico médio de 2,6 vezes em relação ao *in natura*.

### 6.1.2. Coroa de abacaxi

Na Tabela 6.4 é apresentada a matriz de planejamento fatorial mais configuração estrela, com as respostas de teor de proteína bruta (PB) e o teor de aumento protéico (AP) do resíduo coroa de abacaxi (Coa).

**Tabela 6.4.** Matriz do planejamento fatorial mais configuração estrela e os resultados das respostas para coroa de abacaxi

Experimento	PB <i>in natura</i> (%)	T (°C)	C (%)	PB (%)	AP (%)	AP
1	8,81	-	-	12,60	143	1,43
2	8,78	+	-	12,70	145	1,45
3	8,81	-	+	18,05	205	2,05
4	8,78	+	+	18,88	215	2,15
5	7,44	0	0	15,89	213	2,13
6	7,44	0	0	14,97	217	2,17
7	7,44	0	0	15,65	211	2,11
8	8,57	0	-1,4142	12,79	149	1,49
9	8,57	1,4142	0	23,55	275	2,75
10	8,57	0	1,4142	23,88	279	2,79
11	8,57	-1,4142	0	12,28	143	1,43

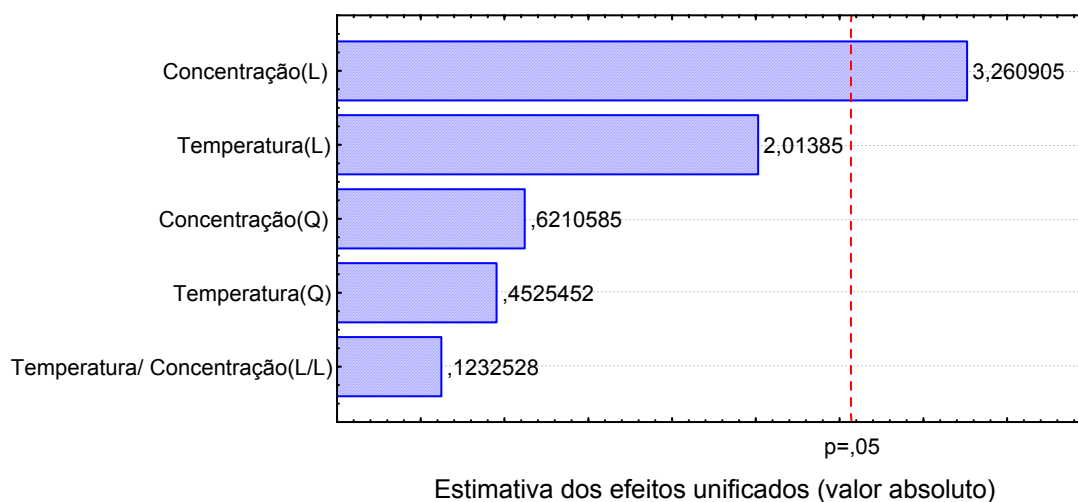


Com os dados experimentais da coroa de abacaxi foi realizada uma análise de regressão múltipla para se obter os coeficientes dos modelos. Considerando que um valor de probabilidade de 95% de confiança é satisfatório ( $p < 0,05$ ), foi possível estabelecer um modelo matemático, mostrando a influência das variáveis em função do teor de proteína bruta e aumento protéico. O teor de proteína bruta (PB) e o aumento protéico (AP) podem ser expressos em função das variáveis independentes pelo modelo matemático de 2ª ordem, representado pelas Equações 6.3 e 6.4 respectivamente. Apenas os coeficientes dos modelos que tiveram efeitos significativos nas respostas, ao nível de 95% de confiança, estão destacados em negrito no modelo.

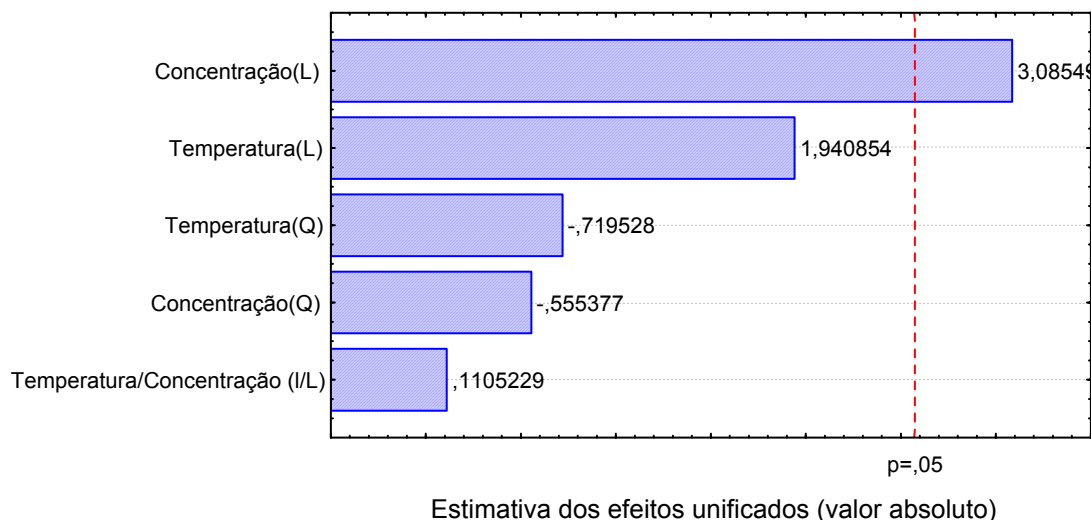
$$\text{PB} = 15,50 + 2,11T + \mathbf{3,41C_L} + 0,18T \times C_L + 0,56T^2 + 0,77C_L^2 \quad (6.3)$$

$$\text{AP} = 2,14 + 0,25T + \mathbf{0,40C_L} - 0,11T^2 - 0,09C_L^2 \quad (6.4)$$

As Figuras 6.3 e 6.4 representam os gráficos de Pareto, para o teor de proteína e aumento protéico, respectivamente, com nível de confiança de 95% para o cálculo dos efeitos múltiplos principais e os efeitos de 2ª ordem para valores absolutos. Nestes dois gráficos de Pareto só a concentração de levedura (L) foi que obteve efeito significativo. Já à temperatura (L), concentração de levedura (Q), temperatura (Q) e a interação de concentração e temperatura (L/L) não obtiveram efeitos significativos.



**Figura 6.3.** Gráfico de Pareto para o teor de proteína bruta da Coa.



**Figura 6.4.** Gráfico de Pareto para o teor de aumento protéico da Coa.

Os resultados da ANOVA são apresentados nas Tabelas 6.5 e 6.6 para os teores de proteína bruta e aumento protéico, respectivamente. A análise de variância (ANOVA) para o modelo foi realizada com um nível de 95% de confiança. O ajuste do modelo também foi expresso pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ), que foi igual a 0,75 e 0,74, para o teor de proteína bruta e aumento protéico, respectivamente. Esses modelos de regressão não prevêem uma boa explicação da relação entre as variáveis independentes (concentração de levedura e temperatura) e as respostas (PB e AP) (RAVIKUMAR *et al.*, 2007).

Nesse caso, pode-se considerar, com 95% de confiança, que os modelos obtidos não são estatisticamente significativos, já que o F calculado foi menor que o tabelado (BARROS NETO *et al.*, 1995). Verificando-se tendências, pode-se observar que houve um aumento protéico médio de quase 2,2 vezes em relação ao *in natura*.

**Tabela 6.5.** Resultados da ANOVA para proteína bruta (PB) da coroa de abacaxi

	SQ	GL	MQ	F <sub>cal</sub>	p
Temperatura (L)	35,5670	1		4,05559	0,100153
Temperatura (Q)	1,7960	1		0,20480	0,669835
<b>Concentração (L)</b>	<b>93,2543</b>	<b>1</b>		<b>10,63350</b>	<b>0,022423</b>
Concentração (Q)	3,3827	1		0,38571	0,561775
T emp./Conc. (L/L)	0,1332	1		0,01519	0,906708
Regressão	133,3587	5	26,67	3,04	
Resíduo	43,8493	5	8,77		
Falta de ajuste	43,3938	3		63,5155	0,015540
Erro puro	0,4555	2			
<b>F<sub>cal</sub> / F<sub>tab</sub></b>				<b>0,60</b>	
Total	176,8857	10			

F<sub>tab, 5,5</sub> = 5,05 ; F<sub>cal</sub> < F<sub>tab</sub> não é estatisticamente significativo.

**Tabela 6.6.** Resultados da ANOVA para o aumento protéico (AP) da coroa de abacaxi

	SQ	GL	MQ	F <sub>cal</sub>	p
Temperatura (L)	0,493403	1		3,766916	0,109950
Temperatura (Q)	0,067813	1		0,517721	0,504033
<b>Concentração (L)</b>	<b>1,246998</b>	<b>1</b>		<b>9,520284</b>	<b>0,027299</b>
Concentração (Q)	0,040401	1		0,308444	0,602568
T emp./Conc. (L/L)	0,001600	1		0,012215	0,916294
Regressão	1,827023	5	0,37	2,85	
Resíduo	0,654917	5	0,13		
Falta de ajuste	0,653050	3		233,232	0,004272
Erro puro	0,001867	2			
<b>F<sub>cal</sub> / F<sub>tab</sub></b>				<b>0,56</b>	
Total	2,481673	10			

F<sub>tab, 5,5</sub> = 5,05; F<sub>cal</sub> < F<sub>tab</sub> não é estatisticamente significativo.

### 6.1.3. Casca de maracujá

Na Tabela 6.7 é apresentada a matriz de planejamento fatorial mais configuração estrela com as respostas de proteína bruta (PB) e aumento protéico (AP) do resíduo casca de maracujá (Cam).

**Tabela 6.7.** Matriz do planejamento fatorial mais configuração estrela e os resultados das respostas casca de maracujá

Experimento	PB <i>in natura</i> (%)	T (°C)	C (%)	PB (%)	AP (%)	AP
1	6,23	-	-	10,43	167	1,67
2	10,22	+	-	11,99	117	1,17
3	6,23	-	+	15,37	246	2,46
4	10,22	+	+	16,11	158	1,58
5	7,41	0	0	17,93	242	2,42
6	7,41	0	0	17,86	241	2,41
7	7,42	0	0	17,98	242	2,42
8	6,49	0	-1,4142	8,06	124	1,24
9	6,49	1,4142	0	16,33	252	2,52
10	6,49	0	1,4142	22,74	350	3,50
11	6,49	-1,4142	0	7,99	123	1,23

Com os dados experimentais da casca de maracujá, para cada resposta foi realizada uma análise de regressão múltipla para se obter os coeficientes dos modelos. Considerando que um valor de probabilidade de 95% de confiança é satisfatório ( $p < 0,05$ ), foi possível estabelecer um modelo matemático, mostrando a influência das variáveis em função do teor de proteína bruta e aumento protéico. O teor de proteína bruta (PB) e o aumento protéico (AP) podem ser expressos em função das variáveis independentes pelo modelo matemático de 2ª ordem, representado pelas Equações 6.5 e 6.6, respectivamente. Os coeficientes dos modelos que tiveram efeitos significativos nas respostas, ao nível de 95% de confiança, estão destacados em negrito no modelo.

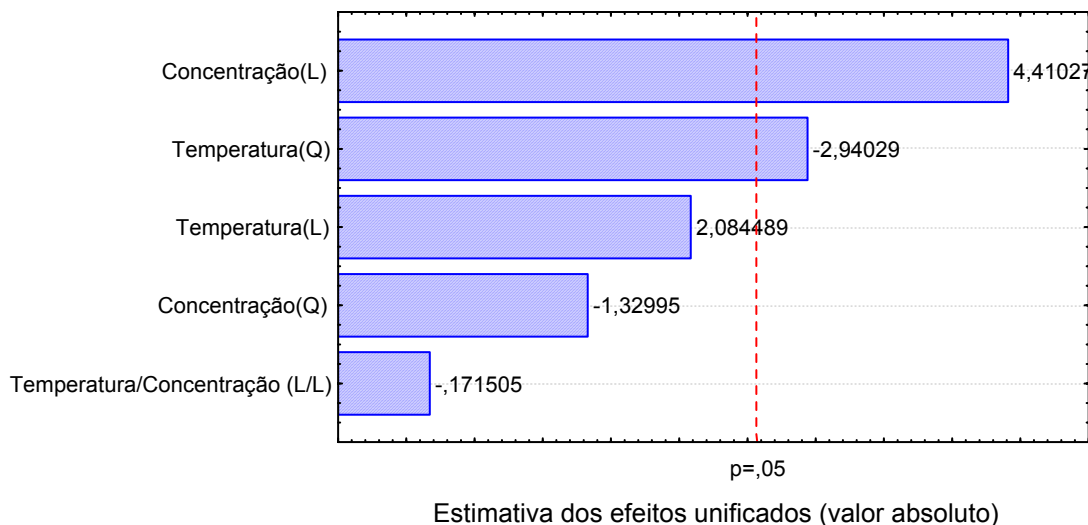
$$\text{PB} = \mathbf{17,92} + 1,76T + \mathbf{3,73C_L} - 0,21T C_L - \mathbf{2,96T^2} - 1,34C_L^2 \quad (6.5)$$

$$\text{AP} = \mathbf{2,42} + 0,06T + 0,55C_L - 0,10T C_L - 0,37T^2 - 0,12C_L^2 \quad (6.6)$$

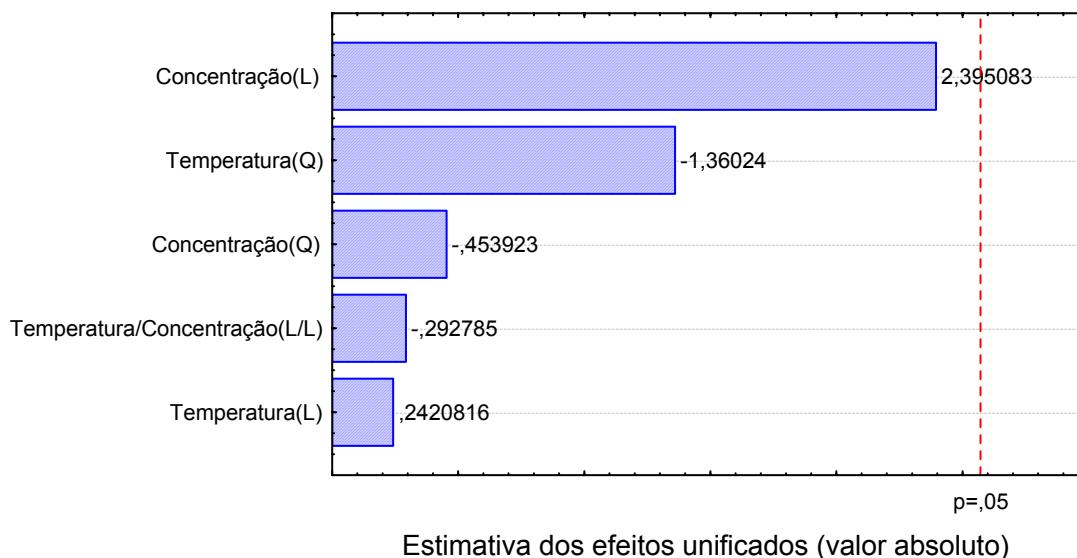
Com relação a resposta de AP, observa-se que o modelo não é estatisticamente significativo ao nível de 95% de confiança, apresentando apenas a média, como coeficiente estatisticamente significativo. Verificando-se tendências, pode-se observar que houve um aumento protéico médio de quase 2,42 vezes em relação ao *in natura*.

As Figuras 6.5 e 6.6 representam os gráficos de Pareto, para os teores de proteína e aumento protéico, respectivamente, com nível de confiança de 95% para o cálculo dos efeitos múltiplos principais e os efeitos de 2ª ordem para

valores absolutos. Na Figura 6.5, que mostra o gráfico de Pareto, só a concentração de levedura (L) e temperatura (Q) obtiveram efeitos significativos. Já a concentração de levedura (Q), temperatura (L) e a interação de concentração e temperatura (L/L) não obtiveram efeitos significativos. O gráfico de Pareto para o teor de aumento protéico (Figura 6.6) mostra que nenhum coeficiente é estatisticamente significativo ao nível de 95% de confiança.



**Figura 6.5.** Gráfico de Pareto para o teor de proteína bruta da Cam.



**Figura 6.6.** Gráfico de Pareto dos efeitos do planejamento para o teor de aumento protéico da Cam.

Os resultados da ANOVA são apresentados nas Tabelas 6.8 e 6.9 para os teores de proteína bruta e aumento protéico. A análise de variância (ANOVA) para o modelo foi realizada com um

nível de 95% para  $p < 0,05$ . O ajuste do modelo também foi expresso pelo coeficiente de determinação (variação explicada) ( $R^2$ ), que foi igual a 0,87 e 0,61, para teor de proteína bruta e aumento protéico, respectivamente. Isso significa que, para PB, o modelo de regressão prevê uma boa explicação da relação entre as variáveis independentes (concentração de levedura e temperatura) e a resposta (PB); já com relação à resposta aumento protéico esse modelo de regressão não prevê uma razoável explicação da relação entre as variáveis independentes (RAVIKUMAR *et al.*, 2007).

**Tabela 6.8.** Resultados da ANOVA para proteína bruta (PB) da casca de maracujá

	SQ	GL	MQ	$F_{cal}$	p
Temperatura (L)	24,8320	1		4,34509	0,091538
<b>Temperatura (Q)</b>	<b>49,4076</b>	<b>1</b>		<b>8,64533</b>	<b>0,032246</b>
<b>Concentração (L)</b>	<b>111,1589</b>	<b>1</b>		<b>19,45054</b>	<b>0,006955</b>
Concentração (Q)	10,1084	1		1,76875	0,240974
T emp./Conc. (L/L)	0,1681	1		0,02941	0,870552
Regressão	186,9203	5	37,38	6,53	
Resíduo	28,5748	5	5,72		
Falta de ajuste	28,5675	3		2620,87	0,000381
Erro puro	0,0073	2			
<b><math>F_{cal} / F_{tab}</math></b>				<b>1,29</b>	
Total	215,4951	10			

$F_{tab, 5,5} = 5,05$ ;  $F_{cal} > F_{tab}$  estatisticamente significativo.

**Tabela 6.9.** Resultados da ANOVA para o aumento protéico (AP) da casca de maracujá

	SQ	GL	MQ	$F_{cal}$	p
Temperatura (L)	0,024679	1		0,058603	0,818333
Temperatura (Q)	0,779188	1		1,850265	0,231866
Concentração (L)	2,415737	1		5,736421	0,061997
Concentração (Q)	0,086771	1		0,206046	0,668908
T emp./Conc. (L/L)	0,036100	1		0,085723	0,781448
Regressão	3,257042	5	0,65	1,55	
Resíduo	2,1056135	5	0,42		
Falta de ajuste	2,105546	3		21055,46	0,000047
Erro puro	0,000067	2			
<b><math>F_{cal} / F_{tab}</math></b>				<b>0,31</b>	
Total	5,362655	10			

$F_{tab, 5,5} = 5,05$ ;  $F_{cal} > F_{tab}$  não estatisticamente significativo.

## 6.2. Síntese da análise da regressão dos modelos codificados dos resíduos

Foi utilizado o programa computacional STATISTICA versão 5.0, para obter uma regressão dos dados experimentais para cada resposta; assim, os coeficientes dos modelos são apresentados na Tabela 6.10, que contém para

cada resíduo: o modelo ajustado, os parâmetros estatísticos, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e a razão  $F_{\text{calculado}} / F_{\text{tabelado}}$ .

**Tabela 6.10.** Modelos codificados para as variáveis respostas proteína bruta (PB) e aumento protéico (AP) após o enriquecimento protéico

Resíduo	Variável	Modelos empíricos codificados	$R^2$	$F_{\text{cal}}/F_{\text{tab}}$
Caa	PB	<b><math>17,85 + 3,15 T + 3,46 C_L + 0,35T \times C_L - 1,53 T^2 + 0,23 C_L^2</math></b>	0,92	<b>2,15</b>
Caa	AP	<b><math>2,6 + 0,25 T + 0,4 C - 0,47 T^2 - 0,26 C^2</math></b>	0,81	<b>1,38</b>
Coa	PB	<b><math>15,5 + 2,11T + 3,41C + 0,18T \times C_L + 0,56T^2 + 0,77C_L^2</math></b>	0,75	0,60
Coa	AP	<b><math>2,14 + 0,25T + 0,40C_L - 0,11T^2 - 0,09C_L^2</math></b>	0,74	0,56
Cam	PB	<b><math>17,92 + 1,76T + 3,73C_L - 0,21T \times C_L - 2,96T^2 - 1,34C_L^2</math></b>	0,87	<b>1,29</b>
Cam	AP	<b><math>2,42 + 0,06T + 0,55C_L - 0,10T \times C_L - 0,37T^2 - 0,12C_L^2</math></b>	0,61	0,31

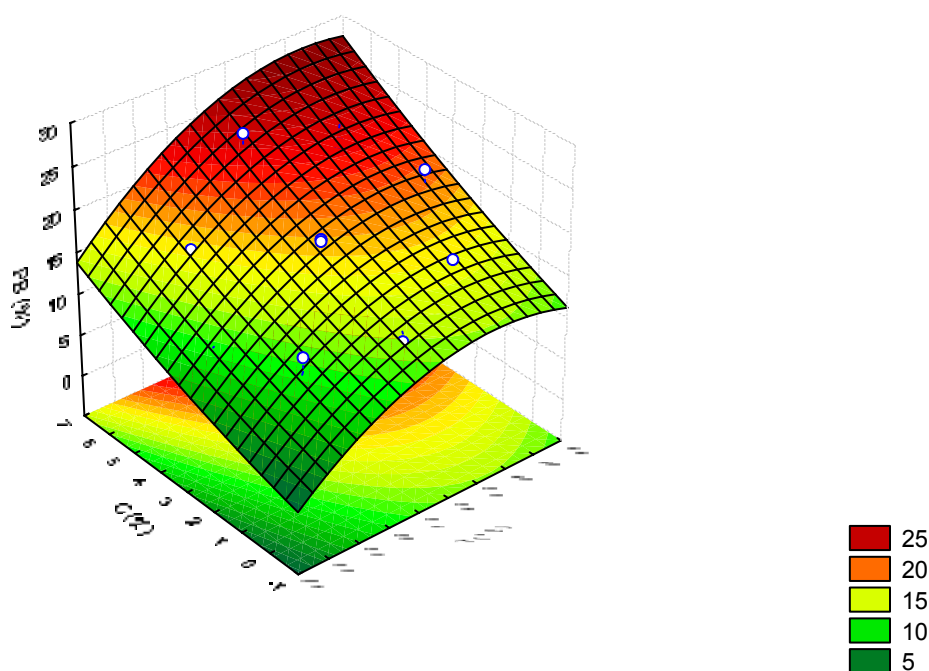
Os modelos que apresentam significância estatística, ao nível de 95% de confiança, tem a relação  $F_{\text{cal}}/F_{\text{tab}}$  em negrito na Tabela 6.10..

### 6.3. Análise de superfície de resposta do resíduo Caa para as variáveis respostas (PB e AP) no processo do enriquecimento protéico

Com as análises estatísticas apresentadas anteriormente, os modelos de PB e AP para o resíduo casca de abacaxi (Caa) tiveram significâncias estatísticas, assim, pode-se construir a superfície de resposta.

Visualizando a Figura 6.7, que apresenta a superfície de resposta que relaciona as variáveis independentes (concentração de levedura e temperatura) em relação à resposta % PB após o processo, observa-se que a concentração inicial de levedura e temperatura apresentam influências positivas, ou seja, quando passam do nível inferior -1 para o nível superior +1, ocorre um aumento da percentagem do teor de proteína bruta (PB). Nota-se que quanto maior for a concentração do inóculo e a temperatura, maior será o teor de PB. Fixando a concentração de levedura acima de 3% e temperatura de 34 °C, obtém-se PB acima de 17%. Comparando-se este resultado com CAMPOS *et al.* (2003), que estudaram o enriquecimento protéico do bagaço de caju, conseguindo um teor de proteína de 21,45%, utilizando concentração de levedura de 12% e ARAÚJO *et al.* (2004), que estudaram o enriquecimento protéico da palma forrageira e do

mandacaru utilizando concentração de 15%, obtiveram um teor de proteína de 25 e 29,5%, respectivamente, verifica-se que o teor de 15% de proteína bruta é satisfatório, porque é um teor próximo aos valores de CAMPOS *et al.* (2003) e ARAÚJO *et al.* (2004), e com concentração de levedura inicial de 3%, bem inferior aos utilizados pelos autores. Isso reduz custos econômicos para os pequenos e médios produtores, proporcionando, assim, um suplemento protéico de mais baixo custo.



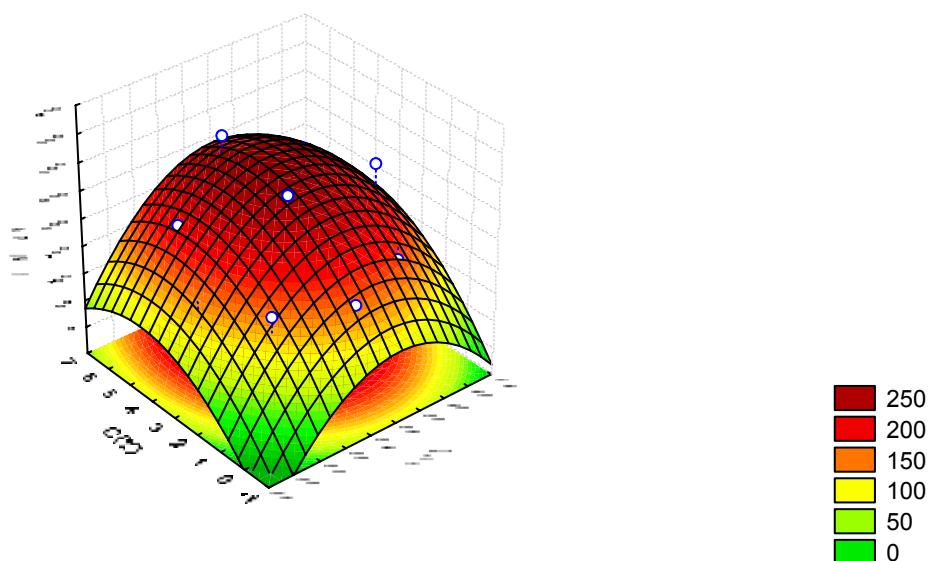
**Figura 6.7.** Influência das variáveis de entrada  $C_L$  (%) e  $T$  (°C) sobre o teor de proteína bruta da Caa.

O aumento na percentagem do teor de proteína bruta no resíduo Caa, atende ao objetivo do trabalho, ou seja, garante uma suplementação protéica que pode substituir as rações convencionais utilizadas para animais em época crítica do ano na região semi-árida.

Analisando a Figura 6.8 que apresenta a superfície de resposta com as variáveis independentes (concentração de levedura e temperatura) em relação à resposta de aumento protéico (AP) da Caa, a concentração e a temperatura tiveram um efeito positivo em relação a resposta de AP. Fixando a concentração em 3% e temperatura de 34 °C, um maior AP é alcançado, podendo chegar a mais



de 2,60 vezes o valor *in natura*. ARAÚJO (2004) explica que, em função de ocorrerem variações na percentagem de matéria seca (MS) no decorrer do processo de enriquecimento protéico, foi introduzida a definição da percentagem de aumento da proteína bruta (AP), tentando explicar o crescimento do microrganismo no substrato fermentado, comparando com a percentagem deste nutriente contido no substrato na forma *in natura*. Esse mesmo autor explica que esta resposta apresenta, quantitativamente, não só o teor de proteína bruta (PB), mas a concentração da matéria seca na massa, e conseqüentemente, o teor de aumento protéico (AP) no bioproduto.



**Figura 6.8.** Influência das variáveis de entrada T (°C) e  $C_L$  (%) sobre o teor de aumento protéico da Caa.

#### 6.4. Análise de resposta do resíduo Coa para as variáveis de respostas (PB e AP) no processo do enriquecimento protéico

Não sendo estatisticamente significativos os modelos de PB e AP para o resíduo Coa, serão realizadas análises de tendências das influências das variáveis de estudo sobre as respostas, sem construir as superfícies.

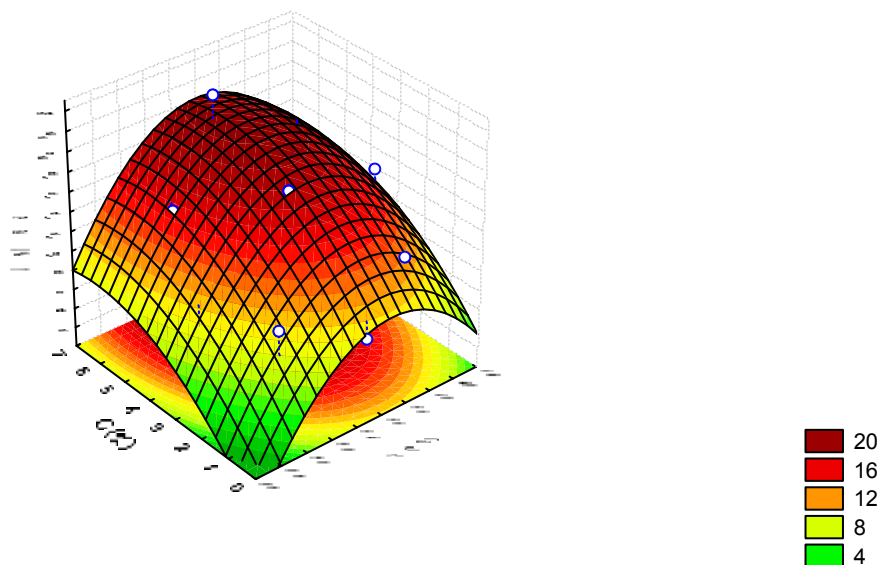
Verificando a PB na Tabela 6.4, observa-se que se pode alcançar valor acima de 23% (experimento 10). SUHET (1997), que estudou resíduos de abacaxi por fermentação semi-sólida em frasco, utilizando o *Aspergillus niger* no substrato com o nível de concentração de 0,3%, obteve um teor protéico de 13,90% em 75 h de fermentação. É importante observar que a utilização da levedura *S. cerevisiae* é mais econômica, prática e acessível de adquirir do que o fungo *A. niger*. Outro fator importante foi o tempo de 48 h de fermentação conseguido nesta pesquisa, para minimizar os custos deste produto final. O elevado índice de teor de proteína bruta obtido nesta pesquisa, atende às normas da NRC (1989), pelas quais este bioproduto pode ser utilizado na época de escassez de alimentos, suplementando proteicamente vacas em lactação.

Observando a Tabela 6.4, nota-se que, operando com a temperatura no ponto central (34 °C) e a concentração no maior nível 1,4142 (5,8%), obtém-se um AP em torno de 2,8 vezes acima do substrato *in natura*.

#### **6.5. Análise de superfície de resposta do resíduo Cam para a variável de respostas PB no processo do enriquecimento protéico**

Na análise estatística observou-se que, para a resposta PB, o modelo é estatisticamente significativo, logo se pode construir a superfície de resposta da mesma. Já para a resposta AP não foi observado significância ao nível de 95%, portanto a superfície de resposta de AP não pode ser construída.

A Figura 6.9 apresenta a superfície de resposta com as variáveis independentes (concentração de levedura e temperatura) em relação à resposta de proteína bruta (PB) da Cam após o processo de enriquecimento nutricional com a levedura *Saccharomyces cerevisiae* e fermentação semi-sólida.



**Figura 6.9.** Influência das variáveis de entrada  $C_L$  (%) e  $T$  (°C) sobre o teor de proteína bruta da Cam.

Observa-se que a concentração inicial de levedura apresenta influência positiva, ou seja, quando passam do nível de -1 para o nível superior +1, ocorre um aumento da percentagem do teor de proteína bruta (PB). Fixando-se a concentração em 3% e para qualquer temperatura obtém-se a PB de aproximadamente 20%. Comparando-se o teor de proteína alcançado por esse trabalho, ao resultado apresentado por REIS *et al.* (1993), que encontraram uma PB de 10,47% (base seca), quando trabalharam com a silagem do resíduo de maracujá e sua associação com capim elefante “cameroon” e a silagem elefante “cameroon” enriquecida com farelo de trigo e algodão, verifica-se que a suplementação protéica da Cam apresentada neste trabalho tem uma PB superior. Além de uma boa fonte de nutrientes para ruminantes, contribui para baixar custos operacionais e minimizar os problemas de poluição ambiental, na agroindústria do maracujá.

Com relação a resposta do AP, operando o processo com concentração inicial de 3% e temperatura de 34 °C, obtém-se valor de 2,42 vezes o *in natura*.

## 6.6. Considerações gerais

A Tabela 6.11 apresenta a síntese dos valores das variáveis de entrada (concentração de levedura e temperatura) que otimizam as respostas (PB e AP) no processo em estudo.

**Tabela 6.11.** Síntese com as variáveis de entrada que maximizam as respostas

Resíduo	C <sub>L</sub> (%)	T (°C)	PB (%)	AP (%)
Caa	3	34	17,85	2,60
Coa	3	38	23,55	2,75
Cam	3	34	17,92	2,42

De acordo com o teor de proteína bruta (PB) dos resíduos Caa, Coa e Cam após o processo de enriquecimento nutricional, verifica-se que os mesmos estão dentro das normas de alimentação recomendadas pela NRC (1989). Desta maneira, os bioprodutos podem ser utilizados na época de escassez de alimentos suplementando nutricionalmente a dieta das diversas categorias de animais como: 14 a 16% de PB para as vacas secas, 18% de PB em rações iniciais para bezerros e de 20 a 24% de PB ou mais dependendo da produção de vacas em lactação. As tendências dos resultados obtidos com os resíduos apresentados nesta pesquisa atendem ao objetivo do trabalho, ou seja, garantem uma suplementação protéica que pode substituir as rações convencionais utilizadas para animais, em época crítica do ano na região semi-árida.

## 6.7. Conclusão

- Para a Caa, as variáveis de respostas (PB e AP) apresentaram modelos empíricos de 2<sup>a</sup> ordem com significância estatística ao nível de 95%. As respostas maximizadas foram obtidas com C<sub>L</sub> = 3% e T = 34 °C.
- Para a Coa, as variáveis de respostas (PB e AP) apresentaram modelos empíricos de 2<sup>a</sup> ordem, não estatisticamente significativas ao nível de 95%. As respostas maximizadas foram obtidas com C<sub>L</sub> = 5,8% e T = 38 °C.
- Para a Cam, as duas variáveis de saída (respostas - PB e AP) apresentaram modelos empíricos de 2<sup>a</sup> ordem com significância estatística ao nível de 95% para PB e não estatisticamente significativa ao nível de 95% para AP. As respostas maximizadas foram obtidas com C<sub>L</sub> = 3% e T = 34 °C.

## **Capítulo 7 – Resultados e Discussão**

### **Estudo Nutricional dos Resíduos com os Valores Otimizados**

Neste capítulo são apresentadas as análises dos resíduos com as variáveis concentração e temperatura, operando nos níveis que maximizam e otimizam as respostas de PB e AP (estudo realizado no capítulo anterior). É bom observar que foram realizados experimentos fixando-se as variáveis concentração de levedura e temperatura em 3% e 34 °C, respectivamente, para os resíduos de Caa e Cam, e para o resíduo Coa fixou-se concentração de levedura em 5,8% e temperatura em 38 °C. Nos casos de Caa e Cam, teve-se como foco a menor concentração inicial de levedura que maximiza as respostas, ou seja, menor concentração inicial significa menor custo final do produto.

A partir daí, foram feitos os estudos da composição da matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), minerais (MM), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), energia bruta (EB) e digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS), dos resíduos analisados, pois o objetivo deste estudo é confirmar não só o enriquecimento protéico dos resíduos, mas o nutricional, ou seja, enriquecimento protéico, mineral e energético.

#### **7.1. Caracterização químico-bromatológica do resíduo Caa com valores otimizados**

Na Tabela 7.1 é apresentada a caracterização química bromatológica otimizada do resíduo casca de abacaxi com valores otimizados. Foram analisados os seguintes teores: PB (%), MS (%), MM (%), MO (%), P (%), Ca (%), Mg (%), S (%), K (%), FDN (%), FDA (%), EB (Kcal/Kg) e DIVMS (%). As análises foram realizadas em triplicata, com as análises do resíduo Caa feitas na matéria seca.

**Tabela 7.1.** Caracterização do resíduo Caa com os valores otimizados:  $C_L = 3\%$  e  $T = 34\text{ }^{\circ}\text{C}$

Res.	PB (%)	MS (%)	MO (%)	MM (%)	P (%)	Ca (%)	Mg (%)	K (%)	FDN (%)	FDA (%)	EB Kcal/ kg	DIVM S (%)
Caa	8,31	89,58	93,13	6,87	-	-	-	-	52,42	28,03	4.114	-
<i>in natura</i>												
Caa	20,91	88,01	92,14	7,86	0,15	0,28	0,34	0,60	64,85	33,26	4.366	68,10
Caa	20,01	87,82	92,04	7,96	0,14	0,44	0,22	0,70	61,37	33,61	4.284	68,65
Caa	21,19	88,65	92,28	7,72	0,14	0,32	0,29	0,70	-	-	-	-
Média	20,70	88,16	92,15	7,85	0,14	0,35	0,28	0,67	63,11	33,44	4.325	68,36
D. P.	± 0,62	± 0,45	± 0,12	± 0,12	± 0,01	± 0,08	± 0,06	± 0,06	± 2,46	± 0,25	± 57,98	± 0,39

Pode-se observar que a média de PB foi de  $20,7 \pm 0,62\%$ , valor relativamente próximo ao encontrado no Capítulo 6, que foi de aproximadamente 18%. Este teor de PB superior ao encontrado no Capítulo 6, Tabela 6.1 se deve à própria composição nutricional do resíduo da Caa *in natura* de 6,88%, e neste Capítulo 7 o valor de PB *in natura* = 8,31%.

Analisando os resultados da Tabela 7.1, observa-se que o valor de matéria seca obtida neste trabalho é alto; isso é justificado porque antes houve a secagem no resíduo analisado. Comparando-se a caracterização bromatológica do farelo da casca de abacaxi ao apresentado por UCHIDA et al. (1980), que obteve o teor de MS de 84,10%, constata-se que este resultado é um pouco menor ao obtido nesta pesquisa. ARAÚJO (2004) cita que, conforme as normas exigidas pela NRC (1989), um animal jovem em pleno crescimento, com peso entre 90 e 200 Kg, consome em média 2,7 Kg de matéria seca por 100 Kg de peso vivo. Uma vaca de 450 Kg de peso vivo consome diariamente em média, 63 Kg de pasto verde com 12% de matéria seca. Neste caso, que apresenta uma maior concentração do teor de MS no produto final, espera-se que a utilização do mesmo na dieta dos animais venha atender em parte as necessidades nutritivas do rebanho.

Pode-se observar na Tabela 7.1 que o teor de cinza apresentado neste trabalho foi maior e o teor de matéria orgânica menor, quando comparados com os valores apresentados por UCHIDA et al. (1980), que fez a caracterização bromatológica do farelo da casca de abacaxi, obtendo os valores de 96,13 % e 3,87 %, para MO e MM, respectivamente.

Na Tabela 7.1 tem-se que a quantidade de nutrientes encontrada é suficiente para suprir as necessidades dos animais alimentados com este resíduo. Observa-se que os valores encontrados neste trabalho foram maiores que os resultados apresentados por VIEIRA *et al.* (1999) quando trabalharam com a determinação bromatológica de sementes e torta de maracujá Havaí e maracujá amarelo do Brasil, encontrando valores de 0,03 e 0,06% e 0,01 e 0,06% de cálcio e fósforo, respectivamente. Sabe-se que o fósforo, o cálcio, o magnésio, o enxofre, o potássio e o ferro são necessários para os animais. E é a partir das plantas (pastagens), farelos, rações, etc., consumidos pelos animais, que as necessidades são supridas resultando em um bom desempenho dos animais, desde a sua estrutura óssea, carne, produção de leite, couro, reprodutores, etc., que dá suporte para se ter um rebanho de qualidade. O cálcio e o fósforo são importantes na vida dos animais, porque a deficiência de minerais para animais novos pode ser mais grave que a deficiência de proteínas ou nutrientes digestíveis totais. A deficiência de cálcio e fósforo, por exemplo, poderá aleijar ou mesmo deformar os animais. Do mesmo modo, seus ossos poderão se tornar tão frágeis, a ponto de causar fraturas facilmente na idade adulta.

Já em relação à fibra em detergente neutro (FDN), obteve-se a média do valor otimizado de 63% (matéria seca). Este valor é próximo ao encontrado por ARAÚJO (2004), que conseguiu o teor FDN de 54%, quando trabalhou com enriquecimento proteico do mandacaru sem espinho. Segundo FIGUEREDO (1996), os alimentos com percentuais de FDN acima de 35% garantem teor normal de gordura do leite.

Como mostrado na Tabela 7.1, a fibra em detergente ácido (FDA) para a amostra de Caa foi em média de 33% (matéria seca). Pelas recomendações do NRC (1989) para alimentação de vacas em lactação, o valor exigido é no mínimo de 21% de FDA, com pelo menos 75% de FDN proveniente de volumoso. Os valores de FDA encontrados neste trabalho, antes e após o enriquecimento foi interessante, porque o resíduo Caa *in natura* obteve 28% de FDA, e a medida que o teor de proteína bruta aumenta, diminui o valor de FDA; é o caso em que, quando o teor de proteína bruta é 21,37%, tem-se o valor de FDA de 17,74%.

A Tabela 7.1 apresenta a energia bruta (EB) do resíduo Caa *in natura* que foi menor do que os valores enriquecidos que obteve a média de 4.325 kcal/Kg. Este valor está de acordo com o encontrado por ARAÚJO (2004), que trabalhando com o mandacaru sem espinho obteve 4.700 cal/g. ADISA e FAJOLA (1982) comentam que as fontes de carbono utilizadas por microrganismos são variáveis e dependentes da capacidade destes em decompor os compostos orgânicos e em sintetizar substâncias complexas, a partir de unidades mais simples. Afirmam, ainda, que existem diferenças de aptidão, entre microrganismos quanto à obtenção de energia a partir de diferentes fontes de carbono.

Na Tabela 7.1 é apresentado o teor de digestibilidade *in vitro* do resíduo Caa, com um valor médio de 68%. Este valor difere do encontrado por ARAÚJO (2004) que obteve um teor de digestibilidade *in vitro* de 95%, quando trabalhou com o enriquecimento protéico da palma forrageira. Mas deve-se levar em consideração que são dois tipos de culturas diferentes. Apesar de ter uma digestibilidade inferior em relação à palma forrageira, este resíduo é bem aceito pelos animais, e também é utilizado na forma de farelo.

## 7.2. Caracterização químico-bromatológica do resíduo Coa com os valores otimizados

Na Tabela 7.2 é apresentada a caracterização bromatológica do resíduo coroa de abacaxi com valores otimizados. Foram analisados os seguintes teores: PB (%), MS (%), MM (%), MO (%), P (%), Ca (%), Mg (%), S (%), K (%), FDN (%), FDA (%), EB (Kcal/Kg) e DIVMS (%).

**Tabela 7.2.** Caracterização do resíduo Coa com os valores otimizados:  $C_L = 5,8\%$  e  $T = 38\text{ }^{\circ}\text{C}$

Res.	PB (%)	MS (%)	MO (%)	MM (%)	P (%)	Ca (%)	Mg (%)	K (%)	FDN (%)	FDA (%)	EB Kcal /kg	DIVMS (%)
Coa	8,21	89,33	92,72	7,28	-	-	-	-	59,07	38,47	3.963	-
<i>in natura</i>												
Coa	21,94	90,52	87,82	7,52	0,15	0,44	0,41	0,50	73,87	43,18	4.273	55,64
Coa	22,15	89,35	88,65	7,83	0,16	0,44	0,34	0,50	69,85	37,19	4.297	64,28
Coa	22,04	89,68	92,48	7,52	0,15	0,44	0,41	0,60	-	-	-	-
Média	22,04	89,85	89,65	7,62	0,15	0,44	0,39	0,53	71,83	40,16	4.285	59,96
D. P.	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	0,11	0,60	2,5	0,2	0,01	0	0,04	0,06	2,84	4,24	16,97	6,11



Na Tabela 7.2 nota-se que o teor de proteína médio foi de 22%, estando dentro das normas definidas pela NRC (1989), para vacas em lactação, que precisam receber um teor de proteína diária entre 20 a 24%. Comparando-se o valor de PB média alcançado de 22% (Coa *in natura* = 8,21%) com a amostra operando com o processo em 3% inicial de levedura e temperatura de 34 °C, nota-se que é praticamente igual ao alcançado no capítulo anterior (Capítulo 6), valor de 18% enriquecido (Coa *in natura* = 6,88%).

Na Tabela 7.2 tem-se a média do teor da matéria seca (MS) da Coa de 89%, estando próximo ao apresentado por RECH *et al.* (1990; 1991) que trabalharam com ensilagem do resíduo de abacaxi, na alimentação de suínos, registrando valor semelhante que foi de 90,23%. O valor é similar ao apresentado por GHOST *et al.* (1989) quando estudaram a composição da coroa do abacaxi obtendo o valor de teor de MS de 89,51%. Deve-se salientar que, quando foi feita a análise de matéria seca, o resíduo já estava seco.

Quanto às médias dos teores de matéria orgânica e teores de cinza, pode-se observar que o teor de cinza apresentado neste trabalho foi maior e o teor de matéria orgânica menor, quando comparados com os valores apresentados por BUTOLO (1993), que fez a caracterização bromatológica de sementes de maracujá amarelo do Brasil, obtendo valores de 96,45% e 3,55%, de MO e MM, respectivamente. Nota-se que existe uma relação entre o teor de cinzas e o teor de matéria orgânica.

Na Tabela 7.2 em que são apresentados os valores dos nutrientes cálcio e fósforo, observa-se que estes foram 0,44 e 0,15%, respectivamente, e maiores se comparados ao apresentado por PRUTHI (1963) e PONTES *et al.* (1989), quando trabalharam com determinação bromatológica de sementes e torta de maracujá Havaí roxo e maracujá amarelo do Brasil, encontraram valores de 0,08, 0,64% e 0,01, 0,06% de cálcio e fósforo, respectivamente. Em relação à semente de maracujá foi observado que o valor de teor de fósforo é maior que o teor encontrado neste trabalho, mas, já em relação aos demais teores, os resultados deste trabalho foram maiores. Isso pode ser explicado, através dos tratamentos desde a

terra até suas colheitas, a que estes frutos foram submetidos quando plantados, porque os nutrientes existentes nos frutos vem do solo.

Com relação ao teor de fibra em detergente neutro (FDN), obteve-se a média do valor otimizado de 71,83% (matéria seca). Este valor é superior ao apresentado por ARAÚJO (2004), que foi de 54%, quando trabalhou com enriquecimento proteico do mandacaru sem espinho. Segundo FIGUEREDO (1996), os alimentos com percentuais de FDN acima de 35% garantem teor normal de gordura do leite.

Na Tabela 7.2 é apresentada a média do teor de fibra em detergente ácido do resíduo Coa (FDA), que foi de 40,16% (matéria seca). Pelas recomendações do NRC (1989), para alimentação de vacas em lactação o valor exigido é no mínimo de 21% de FDA, com pelo menos 75% de FDN proveniente de volumoso.

Observa-se que o teor de energia bruta (EB) do resíduo Coa antes e após o enriquecimento, foi de 3.963 e 4.285 Kcal/Kg, respectivamente. Estes valores são próximos ao encontrado por ARAÚJO (2004), que, trabalhando com a palma forrageira antes e após o enriquecimento, obteve valores de 3.720 cal/g e 4.300 cal/g, respectivamente.

Na Tabela 7.2 é apresentado o teor de digestibilidade *in vitro* do resíduo Coa, com um valor médio de 60%. Esse valor difere do encontrado por ARAÚJO (2004) que obteve um teor de digestibilidade *in vitro* de 95%, quando trabalhou com o enriquecimento protéico da palma forrageira. Apesar da diferença do teor de digestibilidade dessas culturas, o resíduo coroa de abacaxi também é bem aceito pelos animais.

### **7.3. Caracterização químico-bromatológica do resíduo Cam com valores otimizados**

Na Tabela 7.3 é apresentada a caracterização bromatológica do resíduo casca de maracujá com valores otimizados. Foram analisados os seguintes teores: PB (%), MS (%), MM (%), MO (%), P (%), Ca (%), Mg (%), S (%), K (%), FDN (%), FDA (%), EB (Kcal/Kg) e DIVMS (%).

**Tabela 7.3.** Caracterização do resíduo Cam com os valores otimizados:  $C_L = 3\%$  e  $T = 34\text{ }^{\circ}\text{C}$

Res.	PB (%)	MS (%)	MO (%)	MM (%)	P (%)	Ca (%)	Mg (%)	K (%)	FDN (%)	FDA (%)	EB Kcal/ Kg	DIVM S (%)
Cam	7,88	88,23	92,06	7,94	-	-	-	-	49,02	46,35	3.996	-
<i>In natura</i>												
Cam	18,49	88,39	92,59	8,41	0,14	0,52	0,22	0,90	51,23	48,25	4.187	75,88
Cam	19,32	87,65	91,45	8,55	0,15	0,36	0,34	0,90	50,70	49,17	4.016	76,59
Cam	18,36	88,71	90,96	9,04	0,16	0,44	0,22	0,90				
Média	18,72	88,25	91,67	8,67	0,15	0,44	0,26	0,9	50,97	48,71	4101,5	76,24
D.P.	± 0,52	± 0,54	± 0,84	± 0,33	± 0,01	± 0,08	± 0,07	± 0	± 0,38	± 0,65	± 120,92	± 0,50

Pode-se observar na Tabela 7.3 que a média da percentagem de proteína bruta e o desvio padrão do resíduo Cam enriquecida (processada) alcançou bom resultado. Foram utilizados esta concentração e temperatura, com o intuito de maximizar as respostas (PB e AP) e, conseqüentemente, obter um menor custo do produto final. O resultado da média e o desvio padrão obtido em triplicata foram de  $18,72 \pm 0,52\%$ . Comparando-se com o resultado encontrado por PONTES *et al.* (1989), no estudo da composição físico-química da torta de semente de maracujá amarelo, que encontraram o teor de PB de 14,52%, observa-se que o valor encontrado nesta pesquisa é superior e mais eficiente. Mais eficiente porque o animal digere melhor o suplemento protéico da casca de maracujá desenvolvido neste trabalho, que a torta de semente, em razão de a torta ser constituída de óleos. Segundo BUTOLO (1993), o alto teor de gorduras presente no material impede o consumo maior voluntário por ruminantes (1 Kg semente/cab/dia), tornando-se assim, necessária à extração do óleo.

Comparando-se os valores de matéria seca bruta apresentados por VIEIRA *et al.* (1996; 1999), que estudaram a composição bromatológica de sementes e tortas de maracujá roxo e amarelo e obtiveram valores de MS para sementes de maracujá amarelo do Brasil de 88,39% e torta de maracujá amarelo do Brasil de 38,79%, em base seca, com o apresentado neste trabalho, observa-se que o teor de matéria seca é mais elevado. Mesmo assim, pode-se concluir que a variabilidade entre os dados obtidos e os da literatura pode ser atribuída às diferenças de adubação nitrogenada em que a planta do resíduo foi submetida no seu plantio e tratos culturais.

Na Tabela 7.3 têm-se os dados de teor de matéria orgânica (MO) e teor de cinzas (MM) apresentados, o qual alcança índice elevado em relação ao que apresentam VIEIRA *et al.* (1996; 1999), que estudaram a composição bromatológica de sementes e tortas de maracujá roxo e amarelo, obtendo valores de teor de cinzas para sementes de maracujá roxo da Índia de 1,84% e para torta de maracujá do Brasil amarelo, de 3,55%. Comparando-se ao apresentado nesta pesquisa, observa-se que os teores de cinzas são maiores em média do valor otimizado de 7,62%. E conseqüentemente, os valores do teor de MO apresentados neste trabalho são inferiores aos encontrados por VIEIRA *et al.* (1996; 1999).

Na Tabela 7.3 em que são apresentados os valores dos nutrientes cálcio e fósforo, observa-se que os valores encontrados neste trabalho foram 0,44 e 0,15%, respectivamente. Comparando-se aos apresentados por VIEIRA *et al.* (1999) que, quando trabalharam com determinação bromatológica da casca de maracujá amarelo e roxo, encontraram valores de 0,35, 0,8% e 0,34, 0,09% de cálcio e fósforo, respectivamente, os teores de cálcio e fósforos observados neste trabalho, são maiores. Isso provavelmente aconteceu, por causa dos tratos em que as plantas destes frutos foram submetidos desde a adubação da terra até sua colheita. Os resultados apresentados neste trabalho estão dentro das especificações das normas definida pela NRC (1989), para os animais em geral.

A Tabela 7.3 em que se têm o teor de fibra em detergente neutro (FDN) apresenta a média e o desvio padrão do valor otimizado de  $50,97 \pm 0,38\%$ . Este valor é muito alto em relação ao apresentado por VIEIRA *et al.* (1996; 1999), que determinaram a composição bromatológica da casca de maracujá (resíduo) de duas variedades (maracujá roxo e amarelo), obtendo um teor de FDN de 37,69 e 44,16%, respectivamente. O valor mínimo recomendado pela NRC (1989) é igual a 28%. Esse resíduo apresenta teores de proteína bruta em torno de 18% e teores de FDN acima de 50%, estando de acordo com a NRC para atender as necessidades nutricionais dos animais em geral.

Em relação ao teor de fibra em detergente ácido (FDA) a Tabela 6.6 apresenta média do valor otimizado. Comparando-se o valor de FDA neste

trabalho com o encontrado por VIEIRA *et al.* (1996; 1999), que determinaram a composição bromatológica da casca de maracujá (resíduo) de duas variedades (maracujá roxo e amarelo), obtendo os teores de FDA de 30,06 e 35,85%, respectivamente, nota-se que o valor deste trabalho foi maior. Nas normas recomendadas pela NRC (1989), o teor de FDA é no mínimo de 21%, sendo o valor encontrado nesta pesquisa superior; já o valor de FDN do bioproduto foi de 48,71%, valor este considerado excelente na alimentação animal.

Na Tabela 7.3 é mostrado o teor de energia bruta de 3.990 Kcal/Kg, valor inferior ao encontrado por SANTOS (1995), KORNDORFER *et al.* (1998) e REIS (1994) que determinaram a composição bromatológica do resíduo *in natura* e da silagem de maracujá amarelo, com os teores de 4.324,09 e 5.004,58 kcal/Kg, respectivamente. Comparando-se ao apresentado nesta pesquisa, média do teor de EB (enriquecido) de 4.101,5 kcal/kg, pode-se afirmar que este teor de EB é satisfatório. Segundo ARAÚJO (2004), a importância dos carboidratos que se transformam em energia é manter a temperatura do corpo, formação de gordura no organismo, atividade muscular, processo digestivo e manutenção da vida do feto em vacas prenhas. É também de suma importância a determinação do valor energético para a alimentação do gado leiteiro que utiliza este nutriente para produção de gordura e açúcar do leite. Portanto, foi positivo ter encontrado o resultado de teor de energia bruta do resíduo fermentado, que sugere uma estabilidade entre o consumo e a produção de carboidratos durante o processo, uma vez que o microrganismo utiliza os carboidratos para a síntese de proteína. O próprio microrganismo (levedura) apresenta em sua parede celular concentração alta de carboidratos, principais fontes de energia.

Na Tabela 7.3 é apresentado o teor de digestibilidade *in vitro* do resíduo Cam, com o valor médio de 76%. Em relação aos resíduos analisados neste trabalho, este foi o que obteve a melhor percentagem e também deve-se levar em consideração que só foi analisada a casca do maracujá. OTAGAKI e MATSUMOTO (1958), quando trabalharam com a composição bromatológica de três variedades de maracujá, verificaram a avaliação da produção de leite e vacas em lactação alimentadas com resíduos do maracujá desidratado (50% da ração),

capim elefante e concentrado, comparado com o bagaço de abacaxi. A casca do maracujá desidratado apresentou coeficientes de digestibilidade para a PB de 45,23%, teores de EE 6,38%, FB de 76,42% e de nutrientes digestíveis total de 60,70% (NDT), além de ser um alimento altamente palatável. A digestibilidade aparente de proteína da casca do maracujá é aproximadamente três vezes maior que a do abacaxi. Segundo os autores a utilização da casca do maracujá na alimentação de bovinos é uma excelente possibilidade para o escoamento do subproduto industrial, porém devem ser realizados mais estudos sobre o custo de desidratação da casca.

Na Tabela 7.4 têm-se a média da caracterização dos valores otimizados dos resíduos analisados. Para a casca de abacaxi e maracujá, foram utilizados concentração de 3% e temperatura de 34°C e para a coroa de abacaxi foi utilizada concentração em 5,8% e temperatura de 38 °C.

**Tabela 7.4.** Caracterização químico-bromatológica dos três resíduos otimizados

Res.	PB (%)	MS (%)	MO (%)	MM (%)	P (%)	Ca (%)	Mg (%)	K (%)	FDN (%)	FDA (%)	EB kcal/ kg	DIVMS (%)
Caa <sub>méd</sub>	20,70	88,16	92,15	7,85	0,14	0,35	0,28	0,67	63,11	33,44	4.325	68,36
Coa <sub>méd</sub>	22,04	89,85	89,65	7,62	0,15	0,44	0,39	0,53	71,83	40,16	4.285	59,96
Cam <sub>méd</sub>	18,72	88,25	91,67	8,67	0,15	0,44	0,26	0,90	50,97	48,71	4101,5	76,24

Comparando-se estes resíduos analisados neste trabalho, observa-se, na Tabela 7.4, que os resíduos casca de abacaxi (Caa) e coroa de abacaxi (Coa) apresentaram maiores teores de proteína e energia bruta em relação à Cam. Já com relação à matéria seca, matéria orgânica, minerais, fósforo, cálcio e magnésio, nota-se que os três resíduos analisados apresentaram valores similares. Com relação ao teor de potássio, FDA e DIVMS, o que apresentou os melhores teores foi o resíduo Cam. Com FDN o resíduo que apresentou o maior teor foi Coa.

A Figura 7.1 apresenta a visualização dos resíduos Caa, Coa e Cam depois de enriquecida com a levedura *Saccharomyces cerevisiae* no melhor tempo 48 h.



**Figura 7.1.** Resíduos Caa, Coa e Cam enriquecido com a levedura *Saccharomyces cerevisiae*.

Em geral, nota-se que todos os resíduos processados (enriquecidos) apresentam teores nutricionais que sugerem uma ótima utilização com suplemento nutricional (protéico, energético e mineral) em ração animal.

#### 7.4. Considerações Gerais

Observando a Tabela 7.5, na qual é apresentada a caracterização dos valores otimizados (maximizados) dos resíduos analisados e o Quadro 7.1 no qual é apresentado a composição nutricional de alguns farelos e tortas para animais no mercado, nota-se que os resíduos estudados nesse trabalho apresentam condições satisfatórias para serem utilizados na alimentação animal, além de minimizar o problema de poluição ambiental.

**Tabela 7.5.** Caracterização dos três resíduos otimizados

Resíduos	PB (%)	MM (%)	FDN (%)	FDA (%)	EB kcal/kg
Caa <sub>média</sub>	20,70	7,85	63,11	33,44	4.325
Coa <sub>média</sub>	22,04	7,62	71,83	40,16	4.285
Cam <sub>média</sub>	18,72	8,67	50,97	48,71	4101,50

**Quadro 7.1.** Composição nutricional de alguns farelos e torta para animais

	PB (%)	MM (%)	FB (%)	EE (%)
Farelo de milho	10,00	4,00	7,00	3,00
Farelo de trigo	14,00	6,50	11,00	3,00
Farelo de algodão	20,00	7,00	23,00	0,40
Torta de algodão	20,00	7,50	30,00	7,00
Torta de soja moída	46,00	7,00	6,00	3,00

**Fonte: FARELO - Comércio de Rações AMORIM LTDA. (1989)**

Para um bom desempenho do animal, de modo geral, a sua alimentação deve estar balanceada com todos os nutrientes necessários. Através do enriquecimento protéico dos resíduos estudados foi possível obter suplemento nutricional para alimentação animal, capaz de suprir as necessidades dos mesmos na época de estiagem na região do Semi-Árido.

Os custos operacionais para a industrialização deste produto são baixos, uma vez que:

1. Existem grandes quantidades de resíduos desperdiçados, por ser a Paraíba é um dos maiores produtores de abacaxi e com grandes plantações de maracujá (sendo o Nordeste a região de maior produção de maracujá). com isto, tem-se resíduos suficientes para se obter um bioproduto (suplemento nutricional), substituindo a ração convencional;
2. O início da colheita destes frutos coincide com o fim das pastagens, resultando no período crítico da falta de alimentos para os animais;
3. O baixo teor de concentração de levedura utilizada nesta pesquisa, consegue-se diminuir ainda mais os custos operacionais, sem comprometer o nível de suplementação nutricional dos animais.

## **7.5. Conclusão**

Pelo exposto acima, observa-se que os resíduos estudados poderão ser utilizados como suplemento nutricional (protéico, mineral e energético) para alimentação animal, pois obedecem às normas estabelecidas pela NRC (1989) e podem substituir parcialmente as rações convencionais formando-se uma alternativa de barateamento dos custos dos produtores.



## **Capítulo 8 – Conclusão Geral**

Concluiu-se que o estudo do processo de enriquecimento nutricional dos três resíduos analisados (Caa, Coa e Cam), possui um alto valor agregado semelhante aos concentrados convencionais existentes no mercado, podendo assim, garantir ser um suplemento nutricional protéico, mineral e energético, como uma alternativa alimentar para os animais, na época de escassez de alimento no Semi-árido.

## **Capítulo 9 - Perspectivas para futuros trabalhos**

- Estudar parâmetros termodinâmicos das isothermas de sorção;
- Ajustar as isothermas com outros modelos matemáticos (Chung & Pfof, Halsey, Oswin, Peleg, Smith e etc.)
- Levantar as isothermas de adsorção dos resíduos no melhor tempo de enriquecimento protéico, para estudar-se o armazenamento do enriquecido;
- Ampliação a escala experimental do enriquecimento nutricional dos resíduos;
- Verificar uma redução do melhor tempo de fermentação, com o auxílio de um biorreator diferente do estudado neste trabalho, como por exemplo o tambor rotativo;
- Estudar a possibilidade da obtenção de um suplemento nutricional formado pela mistura dos três resíduos.
- Estudar o desempenho animal com os resíduos enriquecidos;
- Estudar a viabilidade econômica dos resíduos enriquecidos.

## Capítulo 10 - Referências Bibliográficas

ADAM, E.; MYHLBAUER, W.; ESPER, A.; WOLF, W.F.; SPIESS, W. Effect of temperature on water sorption equilibrium of onion (*Allium cepa* L.). Drying Technology, New York, v.18, n.9, p.2117-2129, 2000.

ADISA, V.A.; FAJOLA, A.O. Carbon nutrition of six fruit rot pathogens of *Citrus*. Fitopatologia Brasileira, v.7, n.3, p. 359-363, 1982.

ALBUQUERQUE, P.M.; KOCH, F.; GOULART, T.T.; ESPÓSITO, E.; NINOW, J.L. Enriquecimento protéico do bagaço de maçã com proteína fungica através da fermentação em estado sólido. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE FERMENTAÇÕES (CD ROM), Florianópolis, 2003.

AL-MUHTASEB, A.H.; McMINN, W.A.M.; MAGEE, T.R.A. Water sorption isotherms of starch powders Part 1: mathematical description of experimental data. Journal of Food Engineering. New York. n.61, p.297-307 [www.elsevier.com/locate/jfoodeng](http://www.elsevier.com/locate/jfoodeng) 2004.

AMIN, G. Conversion of sugar-beet particles to ethanol by the bacterium *Zymomonas mobilis* in solid-state fermentation. Biotechnology Letters, New York. v.14, p.499-504, 1992.

ÂNGELI, D.F.; THOMAZINI, E.E.M. Leveduras: uma fonte suplementar de alimentos. Revista Brasileira de Química, v.88, p.113-115, 1980.

AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY – AOAC. Official methods of Analysis. 16<sup>th</sup>. Ed. Arlington, Virgínia, v.2, p.783, 1990.

ARAÚJO, L. de F.; MEDEIROS, A. N. de; PERAZZO NETO, A. ; CONRADO, L. DE S.; SILVA, F. L H. Estudo do enriquecimento protéico do Mandacaru sem espinhos (*Cereus Jamacaru P.D.C.*) utilizando leveduras por fermentação semi-sólida. In: XIV SIMPÓSIO NACIONAL DE FERMENTAÇÃO (SINAFERM), 2003. Florianópolis. Anais de XIV Simpósio Nacional de Fermentação (SINAFERM), Florianópolis. UFSC, 2003.

ARAÚJO, L. de F.; MEDEIROS, A. N. de; PERAZZO NETO, A. ; CONRADO, L. DE S.; SILVA, F. L H. Protein enrichment of cactus Pear (*Opuntia ficus - indica* Mill) using *Saccharomyces cerevisiae* in solid-state fermentation. Brazilian Archives of Biology and Technology, Curitiba, v.48, n.special, p.161-168, 2004.

ARAÚJO, L.F. Enriquecimento protéico do mandacaru sem espinhos (*Cereus jamacaru* P.DC) e palma forrageira (*Opuntia ficus- indica* Mill) por fermentação semi-sólida. Tese Doutorado, Universidade de Campina Grande, Campina Grande, 2004.

ARIKI, J.; TRAVAGLINI, D.A. A secagem de polpa da extração de suco de laranja. Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas, SP, p. 157-166, 1977.

BANDEIRA, D. A. Valor nutritivo do feno de resíduo agro-industrial do abacaxi (*Ananás comosus* L. Mer.) na Alimentação de Ovinos. Dissertação de Mestrado. UFPB. Areia-PB. P.56, 1995.

BAPTISTA, A.S. *Saccharomyces cerevisiae* em milho armazenado e o efeito na redução de aflatoxinas. Tese de Mestrado, ESALQ, Piracicaba, p.134, 2001.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I.S.; BRUNS, R.E. Planejamento e otimização de experimentos. Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 1995.

BERTIPAGLIA, L.M.A. Degradação “in situ” da matéria seca, proteína e fibra em detergente neutro das ensilagens de maracujá e híbrido de milho e do resíduo de maracujá. UNESCO – Jaboticabal. P.38. (Trabalho de Graduação). 1997a.

BERTIPAGLIA, L.M.A.; MELO, G.M.P.; SIQUEIRA, G.B.; ANDRADE, P.; ALCALDE, C.R. Degradação “in situ” da matéria seca, proteína e fibra em detergente neutro das ensilagens de maracujá e híbrido de milho. Anais de 34ª reunião anual da SBZ. p.365-367, 1997b.

BHATTACHARJE, J.K. Microorganism as potential sources of food. Advances Applied Microbiology, v.13, p.139-161, 1970.

BIANCHI, V.L.D.; MORAES, I.O.; CAPALBO, D.M.F. Fermentação em meio semi-sólido”. In: Biotecnologia Industrial: Engenharia Bioquímica, v.2, p.247-276, 2001.

BLEINROTH, E.W. Tecnologia de pós-colheita de frutos tropicais. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos. p.200. 1988.

BOBBIO, F.O.; BOBBIO, P.A. Introdução a química de alimentos. Campinas: Fundação Cargill, p.306. 1985.

BRAGA, R. Plantas do nordeste brasileiro, especialmente do Ceará. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE FLORESTAS TROPICAIS, 2. MOSSORÓ, RN, ANAIS... ESAM. 1976.

BRASIL. Instituto Adolfo Lutz. Normas analíticas do instituto Adolfo Lutz - Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 2.ed. São Paulo, v.1, 2005.

BRUNAUER, S.; EMMETT, P.H.; TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layers. Journal of the American Chemical Society, New York, v.60, p.309-19. 1938.

BUDIATMAN, S.; LOSANE, B.K. carpsava fibrous waste residue: A substitute to wheat bran in solid state fermentation. *Biotechnology letters*. v.1, n.8, p.597- 600. 1987.

BURGI, R. Equipamentos para manejo e tratamento de resíduos agrícolas e agroindustriais. In: ANAIS DO SIMPÓSIO UTILIZAÇÃO DE SUBPRODUTOS AGRÍCOLAS DE COLHEITAS NA ALIMENTAÇÃO DE RUMINANTES. EMBRAPA. São Carlos – SP. p.29-43, 1992.

BUTOLO, J.E. Aproveitamento de produtos não usais na alimentação do gado leiteiro. *Nutrição de Bovinos. Conceitos básicos e Aplicados*. Ed. FEALQ, p.387-405, 1993.

BUTOLO, J.E. Uso de biomassa de levedura em alimentação animal: propriedades, custo relativo e outras fontes de nutriente. In: Workshop Produção de biomassa de levedura: utilização em alimentação humana e animal, Campinas. p.70-89, 1996.

BUTOLO, J.E. Uso da levedura desidratada na alimentação de aves. In: Simpósio sobre tecnologia da produção de levedura desidratada na alimentação animal, Campinas, p.51-83, 1997.

CAMPOS, A. R.; DANTAS, J. P.; SILVA, F. L. H. Enriquecimento protéico do bagaço do pendúnculo de caju (*Anacardium Occidentale*) por fermentação semi-sólida. In: XIV SIMPÓSIO NACIONAL DE FERMENTAÇÃO (SINAFERM), 2003. Florianópolis. Anais de XIV Simpósio Nacional de Fermentação (Sinaferm), Florianópolis. UFSC, 2003.

CANOILAS, L.M. Enriquecimento protéico de resíduos de farinha de mandioca pelo desenvolvimento de leveduras. Piracicaba: ESALQ. 1991. (Dissertação Mestrado)

CAPRA, F.; RIBEIRO, N.P.; VARGAS, G.D.L.P.; OLIVEIRA, D.; FREIRE, D.M.G.; LUCCIO, M.D. Efeito da umidade, temperatura e suplementação do meio na produção de lipase por *Penicillium simplicissimum* utilizando torta de soja como substrato. In : Simpósio Nacional de Fermentações (CD), Florianópolis, 2003.

CAPRISTE, G.H.; ROTSTEIN, E. Prediction of sorptional equilibrium data for starch-containing foodstuffs. *Journal of Food Science*, Chicago, v.47, p.1501-1507, 1992.

CARPENTER, J.F.; CROWE, L.M.; CROWE, J.H. Stabilization of phosphofructokinase with sugars during freeze-drying-characterization of enhanced protection in the presence of divalent-cations. *Biochimica et Biophysica Acta*, v.923, n.1, p.109-115, 1987.

CATÃO, M.S. Farinha de mandioca (*Manihot Esculenta Crantz*): Isolamento e incidência de fungos contaminantes e potencial micotoxigênio. João Pessoa-PB, Universidade Federal da Paraíba. p.38, 1999. (Dissertação de Mestrado)

CHAVES, J.L. Uma política agrícola para o desenvolvimento da Paraíba. Segunda Edição. Revista & Ampliada. Unipê Editora. João Pessoa – PB, v. único, p.164, 2004.

CHIELLINI, E.; SOLARO, R.; CORTI, A.; PICCI, G.; LEPORINI, C.; PERA, A.; VALLINI, G.; DONAGGIO, P. Degradation of starch-filled polyethylene films in a composting environment. *La Chimistry Industrial*, v.73, p.656-663, 1991.

CHOAIRY, S.A. O abacaxizeiro. Conhecimentos básicos, práticas de cultivo e uso. Fortaleza - CE., EMEPA - PB/BNB, p.140. (EMEPA - PB. Documentos, 16). 1992.

COMPAAN, J.P.; BISHOP, E.J.B. Pineapple fruit waste as silage. *Faring in S. Africa*, v.44, n.1, p.28-29, 1968.

CUNHA, M. DAS G.G.; SOUSA, W. H. de. Utilização da palma forrageira na alimentação de ovinos suplementada com fontes protéica e energética. [www.emepa.org.br](http://www.emepa.org.br) 2004.

DESMONTS, R. Tecnologia da produção dos fermentos secos de destilarias. *Boletim Informativo da Associação Paulista de Medicina*. v.8, p.1, 1966.

DINIZ-MENDEZ, L.; BERNARDES, P.S.A.; PANEK, A.D. Preservation of frozen yeast cells by trehalose. *Biotechnology and Bioengineering*, v.65, 1999.

DORTA, B.; BOSCH, A.; ARCAS, I.; ERTOLA, R. Water balance in solid state fermentation without forced aeration, *Enzyme Microbiology Technology*, v.16, p.562-565, 1994.

DURAN, N. Bioconversion to single cell protein: recovery of ligocellulosic material to produce human food as na integrated process: *alimentos* v.14, n.4, p.39-50, 1989.

DUNAND, A.; RENAUD, R.; MARATRAY, J.; ALMANZA, S.; DIEZ, M. INRA-Dijon reactors for solid state fermentation: designs and applications. *Journal Science Ind Res*, v.55, n.3, p.317-332, 1996.

DURAND, A.; CHÉREAU, D. A new pilot reactor for solid-state fermentation: application to the protein enrichment of sugar beet pulp. *Biotechnology and Bioengineering*, v.31, p.476-486, 1988.

DZIEDAK, J.D. Yeast and derivatives: definitions, characteristics and processing. *Food Technology*, v.41, p.104, 1987.

ECHEVARRIA, J.; LEON, J.A.R.; ESPINOSA, M.E. Optimization of solid state fermentation of sugar cane by *Aspergillus niger* considering particles rize effect. Acta Biotechnology, v.11, n.1, p.15-22. 1991.

EMEPA-PB: Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba - PB. Tecnologias geradas ou adaptadas e recomendações de pesquisa. João Pessoa, p.136. (EMEPA-PB, Documentos, 14). 1989.

EMEPA – Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba. Exploração.[online] Disponível na internet. <http://www.emepa.gov.br> Arquivo capturado em Julho de 2004.

FAO. Energy and proyein requeriments. Geneva, 1985.

FARELO - Comércio de Rações AMORIM LTDA. R. Carlos Chagas s/n, Campina Grande-PB. Jun.1989.

FARREL, J.; ROSE, A. Temperatures effects in microorganisms. Annual Review of Microbiology, v.21, p.101-120, 1967.

FAZIER, W.C.; WESRHOF, D.C. Microbiologia de los alimentos. Zaragoza: Acribia, p.681, 1993.

FERNANDEZ, M.; ANANIAS, M.; SOLAR, I.; PEREZ, R.; CHANG, L.; AGOSIN, E. Advances in the development of a control system for a solid substrate pilot bioreactor. In: ROUSSOS, S.; LONSANE, B.K.; RAIMBAULT, M.; VINIEGRA- 1997

FERNANDEZ, M.; PÉREZ, J.R.; SOLAR, I.; AGOSIN, E. Automation of a solid substrate cultivation pilot reactor. Bioprocess Engineering, v.16, p.1-4, 1996.

FERREIRA, C.D.; PENA, R.S. Comportamento higroscópico da farinha de pupunha (*Bactris gasipaes*). Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v.23, n.2, p.251-255, 2003.

FIGUEREDO M.P. Nutrição de bovinos leiteiros e rações metabólicas. Bahia Agrícola, v.1, n.2, p.51, 1996.

GABAS, A.L. Secagem de uva Itália em leito fixo. Univ. Estadual de Campinas – Campinas – SP. Mestrado em Engenharia de Alimentos: Secagem de produtos Agrícolas. Faculdade de Eng. De Alimentos. p.135, 1998. (Dissertação de Mestrado)

GERVAIS, P.A.P.; MARECHAI, P.; MOLIN, Journal Science Ind. Res., v.55, p.343-357, 1996.

GHOSH, T.K.; PATRA, V.K.; TRIBEDI, D.; MITRA, T.K. Comparative nutrient utilization of pineapple tops in sheep and goats. The Indian Journal of Animal Science, v.59, n.11, p.1462-63, 1989.

GIBBONS, W.R.; WESTBY, C.A.; DOBBS, T.L.A. Continuous, farm-scale, solid-phase fermentation process for fuel ethanol and protein feed production from fodder beets. Biotechnology and Bioengineering, New York v.26, p.1098-1107. 1984.

GOULD, G.W. Drying, raised osmotic pressure and low water activity. In: GOULD, G.W.(ed) Mechanisms of action of food preservation procedures. London: Elsevier Science Publishers, p.93-117, 1989.

GOUVEIA, J.P.G.; ALMEIDA, F.A.C.; FONSECA, K.S.; FERNANDEZ, F.R.; MURR, F.E.X. Estudo das isotermas de sorção e calor isostérico do gengibre em casca. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 28, 1999. Anais... Jaboticabal: SBEA. CD Rom. 1999.

GOUVEIA, J.P.G.; FARIAS, E. S.; ALMEIDA, F.A.C. Isotermas de dessorção em frutos de cajá (*Spondias lutea* L.). Revista Brasileira de Armazenamento, Viçosa, v.29, n.2, p.76-81, 2004.

GORNAL, A.G.; BORDAWILL, C.S.; DAZIO, M.M. Determination of protein by the biuret reaction. Journal of Biological Chemistry, v.177, p.751- 780.1949.

HALASZ, A.; LÁSZTITY, R. Use of yeast biomass in food production. Boca Raton: CRC Press. P.312. 1991.

HENDERSON, S.M. A basic concept of equilibrium moisture. Agricultural Engineering, St. Joseph, v. 33, n.1, p.29-32, 1952.

HERMANN, S.R.; HERNANDEZ, F.; RIVALDI, J.D.; SILVEIRA, G.G. Produção de pectina liase e amilase por fermentação no estado sólido à base de bagaço de laranja e farelo de arroz. In : SIMPÓSIO NACIONAL DE FERMENTAÇÕES (CD Rom), Anais..., Florianópolis, 2003.

HESELTEINE, C.W. Solid state fermentation. Biotechnology and Bioengineering, v.14, p.517-532, 1972.

HOLANDA, J.S.; OLIVEIRA, A.J.E.; FERREIRA, A.C. Enriquecimento protéico de pedúnculos de caju com emprego de leveduras, para alimentação animal. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, DF. v.33, n.5, p.79, 1997.

HOTTINGER, T.; BOLLER, T.; WIEMKEN, A. Rapid changes of heat and desiccation tolerance correlated with changes of trehalose content in *Saccharomyces cerevisiae* cells subjected to temperature shifts. FEBS Letters, v.220, n.1, p.112-115, 1987.



HORII, J. Tecnologia da produção de levedura desidratada visando a qualidade do produto final. In: Simpósio sobre tecnologia da produção de levedura desidratada na alimentação animal, Campinas, p.7-25, 1997.

HSU, W. C. Protein from in Taiwan. Sugar y azucar, v.56, p.128-137, 1961.

IUPAQ - International Union of Pure and Applied Chemistry. Reporting physisorption data for gas/solid systems. Pure and Applied Chemistry, New York, v.57, n.4, p.603-619, 1985.

JAY, J.M. Modern food microbiology. 4ed. New York: Nostrand Reinhold, p.642, 1992.

KECHAOU, N.; MAALEJ, M. Desorption isotherms of imported banana. Drying Technology, New York, v.17, n.6, p.1201-1213, 1999.

KILBERG, R. The microbe as a source of food. Annual Review of Microbiology. v.26, n.5, p.428-466, 1972.

KORNDORFER, C.M.; BUENO, I.C.S.; CROSSARA, E.; PEÇANHA, M.R.S.R.; ABDALLA, A. Armazenamento e composição química do resíduo da industria de suco de maracujá. Anais de 35ª reunião anual da SBZ. v.1, p.317-319, 1998.

KRIDER, J.L.; CONRAD, J.H.; CARROL, W.W. Swine production. 8ed. New York: McGraw-Hill, p.679, 1982.

LAHR FILHO, D.; GHIRALDINI, J.A.; ROSSELL, C.E.V. Estudos de otimização da recuperação de biomassa em destilarias. In: Workshop Produção de Biomassa de Levedura: utilização em alimentação humana e animal, Campinas. p.59-67, 1996.

LAHSASNI, S.; KOUHILA, M.; MAHROUZ, M.; KECOAOU, N. Experimental study and modeling of adsorption and desorption isotherms of prickly pear pell (*Opuntia ficus indica*). Journal of Food Engineering, New York, v.55, n.1, p.201-207, 2002.

LE POIDEVIN, N.; ROBINSON, L.A. metodos de diagnóstico foliares utilizados nas plantações do grupo booken na Guiana Inglesa: amostragem de análises. Fertilité, n.21, p.3-11, 1964.

LEITÃO, M.F.de F. Microbiologia de frutas tropicais e seus produtos. In: Instituto de Tecnologia de Alimentos. Alguns aspectos tecnológicos das frutas e seus produtos. São Paulo: ITAL, p.83-126 (serie Frutos Tropicais). 1980.

LESLIE, S.B.; ISRAELI, E.; LIGHTHART, B. Trehalose and sucrose protect both membranes and proteins intact bacteria during drying. Applied and Environmental Microbiology, v.61, n.1. p.3592-3597, 1995.

LESLIE, S.B.; TETER, S.A.; CROWE, L.M. Trehalose lowers membrane phase transitions in dry yeast cells. *Biochimica et Biophysica Acta*, New York, v.1192, n.1, p.7-13, 1994.

LIMA, A. A.; FILHO, H.P.S.; FANCELLI, M.; SANCHES, N.F.; BORGES, A.L. A. A cultura do maracujá. *Coleção Plantar*. Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Frutas tropicais – EMBRAPA, p.76, 1994.

LIMA, D. C. Extração da pectina do maracujá. *Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v.4, p.63-69, 1972.

LODDER, J. *The yeast: a taxonomic study*. 2. ed. Amsterdam, p.1385, 1971.

LOMAURO, C.J.; BAKSHI, A.S.; LABUZA, T.P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part I and II. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, London, v.18, n.2, p.111–117, 1985.

LONSANE, B.K.; GHIDYAL, N.P.G.; BUDIATMAN, S.; RAMAKRISHNA, S.V. *Enzyme Microbiology Technology*, v.7, n.2, p.258-265, 1985.

MACHADO, S.S.; CARDOSO, R.L.; MATSUURA, F.C.A.U.; FOLEGATTI, M.I.S. Caracterização física e físico-química de frutos de maracujá amarelo provenientes da região de Jaguaquara-Bahia. *Magistra*, Cruz das Almas, v.15, n.2, 2003.

MAEMURA, H.; MORIMURA, S.; KIDA, K. Effects of aeration during the cultivation of pitching yeast on its characteristics during the fermentation of wort. *Journal of the Institute of Brewing*, v.104, n. 4, p.207-211, 1998.

MANILAL, V.B.; NARAYANAN, C.S.; BALAGOPALAN, C. Cassava starch effluent treatment with concomitant SCP production. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, Oxford, v.7, 185 -190p. 1991.

MENEZES, T.J.; BARRETO, J.; SALVA, T.J.G.; BALDINI, V.L. Protein enrichment of citrus wastes by solid substrate fermentation. *Process Biochemistry*, October. 1989.

McLAUGHLIN, C.P.; MAGEE, T.R.A. The determination of sorption isotherm and isosteric heats of sorption for potatoes. *Journal of Food Engineering*, n.35, p.267-280. [www.elsevier.com/locate/jfoodeng](http://www.elsevier.com/locate/jfoodeng) 1998.

MOHAMED, A.L.; KOUHILA, M.; JAMALI, A. LAHSASNI, S.; MAHROUZ, M. moisture sorption isotherms and heat of sorption of bitter orange leaves (*Citrus aurantium*). *Journal of Food Engineering*, [www.elsevier.com/locate/jfoodeng](http://www.elsevier.com/locate/jfoodeng) 2005.

MORAES, A. F. Enriquecimento protéico de farelo de arroz por fermentação semi-sólida em biorreator de coluna com leito fixo. *Fundação universidade do Rio Grande*, 1999. (Tese de Mestrado)

MORAES, I.O. Fermentação semi-sólida: definições e conceitos básicos envolvidos; importância dos processos na obtenção de bioprodutos. Embrapa (CD Rom), 2001.

MOREIRA, W.M. Valor nutritivo da semente de maracujá (*Passiflora edulis*, SIMS., Forma Flavicarpa, Deuger) para ruminantes: digestibilidade e níveis na dieta. ESALQ-USP. Piracicaba – SP. p.63, 1980. (Dissertação Mestrado em Nutrição Animal e Pastagens)

MOREIRA, F.B.; PRADO, I.N.; CECATO, U.; ZEOULA, L.M.; WADA, F.Y. Níveis de suplementação com sal mineral proteinado para novilhos Nelore terminados em pastagem no período de baixa produção forrageira. R. Bras. Zootec., Viçosa, v. 33, n. 6, 2004. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1516-35982004000700020&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982004000700020&lng=pt&nrm=iso). Acesso em: 19 Out 2006.

MOO-YOUNG, M.A.; MOREIRA, R.; TENDERGY, R.P. Principles of solid-substrate fermentation. In: SMITH, S.E.; BERRY, D.R.; VRISTIUNSEN, B. The filamentous fungi. Londres, p.117-144, 1983.

MOURA, R.S.F.de. Estudo da cinética de secagem de caju (*Anacardium occidentale* L.) em um secador de leito fixo. UFPB, Departamento de Química, Campina Grande-PB, campus II. 2001. (Dissertação de Mestrado)

NAGY, S.; CHEN, C.S.; SHAW, P.E. Fruit Juice Processing Technology. Agscience, Inc. Auburndale, Florida, p.713, 1993.

NRC – National Research Council. Nutrient requirements of beef cattle. 6<sup>a</sup> Ed.. Washington: National Academy Of Science. (Nutrient requirements of domestic animals). v.1, p.157, 1989.

NIGAM, P.; SINGH, J.D. Basic Microbiology. v.34, n.3, p.405-423, 1994.

ORDOÑEZ, J.A. Tecnologia de Alimentos: componentes dos alimentos e processos. Tradução: Fátima Murad. Porto Alegre: Artmed, v.1, p.25-31; 201-203, 2005.

OTAGAKI, K.M.; MATSUMOTO, H. Nutritive values and grain driers. Agricultural Engineer. p.74-80, 1958.

PAL, K.; MITTAL, G.S.; JINDAL, U.K. Effect of pineapple waste storage conditions on the chemical composition of bran. Potential Animal feed. Agricultural Mechanization in Asia and Latin America. v.15, n.2, p.76-82, 1984.

PALIPANE, K. B.; DRISCOLL, R. H. Moisture sorption characteristics of in-shell macadamia nuts. Journal of Food Engineering, v. 18, n. 1, p. 63-76. 1992.

PANAROTTO, C.; MALVESSI, E.; SILVEIRA, M.M. Avaliação de cascas de limão Taiti como fonte indutor na produção de poligalacturonases por *Aspergillus niger* em estado sólido. In : SIMPÓSIO NACIONAL DE FERMENTAÇÕES (CD Rom), Florianópolis, 2003.

PANDEY, A. Recent developments in solid-state fermentation, *Process Biochemistry*. v.27, p.109-117, 1992.

PANDEY, A.; SOCCOL, C.R.; LEON, J.R.. Solid-state fermentation, *Biotechnology: Fundamentals and applications*, 1st ed., Asiatech Publishers Inc., New Delhi. p.221, 2001.

PANEK, A.D. Trehalose metabolism an its role in *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of Biotechnology*, v.3, p.121-130, 1985.

PARK, S.; RAMIRES, W.F. Dynamics of foreign protein secretion from *Saccharomyces cerevisiae* *Biotechnology and bioengineering*. New York, v.33, n.2, p.272, 1989.

PARK, K.J.; NOGUEIRA, R.I. Modelos para ajuste de isoterma de sorção de alimentos. *Revista Engenharia Rural*, Piracicaba, SP.v.3, n.1, p.80-86, 1992.

PENA, R.S.; RIBEIRO, C.C., GRANDI, G.G. Aplicação de modelos matemáticos bi e tri-paramétricos na predição de isotermas dessorção de umidade do guaraná (*Paullinia cupana*) em pó. *Ciência e tecnologia de Alimentos*, Campinas-SP. v.20, n.1, p.54-58, 2000.

PERAZZO NETO, A. Determinação de parâmetros para o enriquecimento ptotéico da palma (*opuntia fícus-indica Mill*) evagens de algaroba (*Prosopis juliflora*) com *Aspergillus niger*. Rio de Janeiro, Universidade federal do Rio de Janeiro, Escola de Química. 1999. (Tese de Doutorado)

PONTES, M.A.N.; HOLANDA, L.F.F.; ORIÁ, M.A.T. Estudo dos subprodutos do maracujá (*Passiflora edulis f. flavicarpa* deg.): II. Estabilidade da farinha de casca. *Boletim CEPPA*, Curitiba. v.6, n.1, p.1--7, 1988.

PONTES, M.A.N.; HOLANDA, L.F.F.; ORIÁ, M.A.T. Estudo dos subprodutos do maracujá (*Passiflora edulis f. flavicarpa* deg.): III. Obtenção do óleo e da torta. *Boletim CEPPA*, Curitiba. v.7, n.1, p.23-32, 1989.

PRADO, M.E.T.; ALONSO, L.F.T.; PARK, K.J. Isotermas de sorção de modelos matemáticos. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v.19, n.3, p.233-236. 1999.

PRODUÇÃO VEGETAL: Agricultura IN: Anuário Estatístico do Brasil. Rio de Janeiro; IBGE, p.343, 1990.

PRUTHI, J.S. Physiology chemistry and tecnologia Pasi3n fruti. Advances in Food Research, V.12, n.2, p.203-282, 1963.

PY, C.; LACOUÉILHE, J.J.; TEISSON, C. L'ananas; s3 cultura, s3s produits. Paris, G.P. p.562, (Techniques Agricoles et Productions Tropicales, 33). 1984.

RAIMBAULT, M.; RAMIRES T. C. Grow of Rhizopus sp on ungelatinized cassava flour in solid state fermentation for protein enrichment. In: ROSSOS, S. LONSANE, B. K; RAIMBAULT, M; VINEGRA-GONZALEZ, G. Advances in solid state fermentation. Netherlands. Kluwer Academic Publishers. p.169-181, 1980.

RAGHAVARAO, K.S.M.S.; RANGANATHAN, T.V.; KARANTH, N.G. Some engineering aspects of solid-state fermentation. Biochemical Engineering Journal. v.13, p.127-135, 2003.

RAINHO, J.C.M.; CHUONG, W.; ESP3SITO, E. Fermentação s3lida da borra de caf3 para produ33o de *Pleurotus ostreatus*. In: SIMP3SIO NACIONAL DE FERMENTA333ES (CD Rom), Florian3polis, 2003.

RAMANA, M.M.V.; KARANTH, N.G.; RAGHAVARAO, K.S.M.S. Biochemical Engineering aspects of solid-state fermentation. Advances in Applied Microbiology, v.38, p.99-146, 1993.

RAVIKUMAR, K.; KRISHNAN, S.; DEEBIKA, B.; BALU, K.. Decolourization of aqueous dye solutions by a novel adsorbent: Application of statistical designs and surface plots for the optimization and regression analysis. Journal of Hazardous Materials, v.122, p. 75-83.2005

RAVIKUMAR, K.; KRISHNAN, S.; RAMALINGAM, S.; BALU, K.. Optimization of process variables by the application of response surface methodology for dye removal using a novel adsorbent. Dyes and Pigments, v.72, p.66-74. 2007.

RECH, J.L.; JACODINO, I.F.R.; FARIAS, J. DA S.; JACODINO, A. Utiliza33o de res3duos de conservas na alimenta33o de su3nos em crescimento-termina33o. In: REUNI33O ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA. Campinas - SP., Anais...SBZ., 27, 169p. 1990.

RECH, J.L.; JACODINO, I.F.R.; FARIAS, J. DA S.; JACODINO, A. Avalia33o da utiliza33o da silagem de res3duos de abacaxi, com n3veis restritos de ra33o em su3nos: efeito sobre o 3ndice de iodo na gordura e resist3ncia ao corte da carne. IN: REUNI33O ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA. Jo3o Pessoa - PB., Anais...SBZ., 28, 471p. 1991.

REIS, J.; TIESENHAUSEN, I.M.E.V.; PAIVA, T.C.A.; RESENDE, C.A.P.; SERAFIM DOS SANTOS, M.A. Composição química digestibilidade de silagem de capim “cameroon” e de suas misturas. Anais da 30ª Reunião Anual da SBZ. 483p., 1993.

REIS, J. Composição química, consumo voluntário e digestibilidade das silagens de resíduo de maracujá (*Passiflora edulis*, Sims f. *flavicarpa*) com capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum), cv. Cameroon e suas combinações. Lavras-UFLA. 50p. 1994. (Dissertação mestrado em Zootecnia)

RIBEIRO, J.A.; PAULINO, H.T.; OLIVEIRA, D.T.; BARROSO, M.A.S. estudo da cinética de secagem e das condições de equilíbrio de semente de Urucum. Faculdade de Engenharia Química – Universidade de Uberlândia – MG. Anais do X Congresso de Início de Iniciação Científica/UNICAMP – Campinas-SP, 2002.

ROBINSON, T.; NIGAM, P. Bioreactor design for protein enrichment of agricultural residues by solid state fermentation. Biochemical Engineering Journal, New York, v.13, p.197-203, 2003.

RODRIGUES, J.A.S.; PINHEIRO, R.V.R.; MANICA, I.; CASALI, V.W.D.; CONDÊS, A.R. Comportamento de dez variedades de manga (*Mangífera indica*) em Viçosa e Visconde do Rio Branco. Ceres, Viçosa, v.4, n.136, p.580-595. 1997.

RODRIGUES, A.R.C.; PEIXOTO, R.R. Avaliação de alimentos XX. Composição bromatológica, digestibilidade e balanço de nitrogênio de resíduo da indústria de abacaxi. IN: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA. Campinas - SP., Anais...SBZ., n.27, p.92, 1990a.

RODRIGUES, A.R.C.; PEIXOTO, R.R. Avaliação de alimentos XXI. Composição bromatológica, digestibilidade e balanço de nitrogênio de resíduo da indústria de abacaxi ensilado. IN: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA. Campinas - SP., Anais...SBZ., n.27, p.93, 1990b.

RODRIGUES, J.A.S.; PINHEIRO, R.V.R.; MANICA, I.; CASALI, V.W.D.; CONDÊS, A.R. Comportamento de dez variedades de manga (*Mangífera indica*) em Viçosa e Visconde do Rio Branco. Ceres, Viçosa, v.4, n.136, p.580-595. 1977.

RODRIGUES, A.M.; PEIXOTO, R.R. Efeito do cloreto de sódio na produção de proteínas (*Saccharomyces cerevisiae*) em fermentação semi-sólida. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, SP, v.21, n.1, p.57-62, 2001.

ROSE, A.H.; HARRISON, J.N. The yeast. London:Academic Press, v.3, p.590, 1970.

ROUSSOS, S.; LONSANE, B.K.; RAIMBAULT, M.; VINIEGRA-GONZALEZ, G. Advances in solid state fermentation. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on Solid State Fermentation. Kluwer Academic Publishers, 1995.

SAMAPUNDO, S.; DEVLIEGHERE, F. MEULENAER, de B.; ATUKWASE, A.; LAMBONI, Y.; DEBEVERE, J.M. Sorption isotherms and isosteric heats of sorption of whole yellow dent corn. Journal of Food Engineering, [www.elsevier.com/locate/jfoodeng](http://www.elsevier.com/locate/jfoodeng) 2006.

SALGADO, J.M. Alguns fatores que afetam a qualidade do concentrado protéico obtido em destilaria de álcool. Tese de Mestrado, ESALQ, Piracicaba, 1976.

SANTIN, A.P. estudo da secagem e da inativação de Leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*). Departamento de engenharia química – universidade federal de santa Catarina – Florianópolis-SC, p.105. 1996. (Dissertação de Mestrado)

SANTOS, M.A.S. Valor de nutritivo de silagens de resíduo de maracujá (*Passiflora edulis*, Deuger), ou em mistura com casca de café (*Coffe arábica*, L.) e palha de feijão (*Phaseolus vulgares*, L.). Lavras – UFLA. p.57, 1995. (Dissertação de Mestrado em Zootecnia)

SATAPATHY, H. Utilization of pineapple cannery waste animal feed with urea or natural sources of protein. Veterinary Journal, v.55, n.2, p.149-56, 1978.

SAUCEDO, C.G.; TREJO, H.M.R.; LONSANE, B.K.; NAVARRO, J.M. On-line automated monitoring and control systems for CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> in aerobic and anaerobic solid-state fermentations. Process Biochemistry, v.29, p.13-24, 1994.

SHANKARANAND, V.S.; LOSANE, B.K. Coffe husk: na inexpensive substrate for production of citric scide by *Aspergillus niger* in a solid – state fermentation system. Word Journal of microbiology and Biotechnology, V.10, p.165-168, 1994.

SCHMIDELL, W.; LIMA, U. A.; AQUARONE, E.; BORZANI, W. Biotecnologia Industrial. Engenharia Bioquímica. v.2. Editora Edgard Blücher LTDA. São Paulo, 2001.

SILVA, D.J. Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos. Viçosa: Imprensa Universitária, UFV, 166p. 1981

SILVA, A.J. Pré-processamento de produtos agrícolas. Juiz de Fora-MG. P.103-108, 1995.

SILVA, A.J. Análise de alimentos – métodos químicos e biológicos. Viçosa, MG Imprensa Universitária–UFV. 166p. 1998.

SILVA, R.R.; BOCCHI, N.; ROCHA FILHO, R.C. Introdução a química experimental. São Paulo: McGraw-Hill, 296p. 1990.

SILVA, M.M.; GOUVEIA, J.P.G.; ALMEIDA, F.A.C. Dessorção e calor isostérico em polpa de manga. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 6, n.1, p.123-127, 2002.

SINIMBU, F. Tecnologia garante vida longa ao maracujazeiro. Newsletter da Embrapa Roraima. Data de Edição: 12 de julho de 2004.

SIQUEIRA, G.B.; BERIPAGLIA, L.M.A.; ANDRADE, P.; ALCAIDE, C. R. Utilização resíduo de maracujá e silagens de híbridos de milho, na terminação de bovinos de corte em confinamento. In: Reunião Anual da SBZ. v.1, n.35, p.368-370, 1998.

STARLING, J.M.C.; RODRIGUEZ, N.M.; MOURÃO, G.B. Avaliação nutricional da semente de maracujá (*Passiflora edulis*) em ensaio de digestibilidade aparente em ovinos. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. p.219-221. 1996  
STREIT, F.; HECK, J. X.; SCHIRMER, A.; AYUB, M. A. Z.; HERTZ, P. F. Goma Xantana: Produção e extração em cultivo semi-sólido a partir de um resíduo fibroso de soja. In: XIV SIMPÓSIO NACIONAL DE FERMENTAÇÕES (CD Rom), Florianópolis, 2003.

SUHET, M. I. Enriquecimento protéico do resíduo da industrialização do abacaxi (*Ananas comosus Merrill*) por fermentação: utilizando fungos filamentosos. Universidade Federal da Paraíba, 1999. (Dissertação de Mestrado)

SUOMALAINEN, H.; PFAFFLI, S. Changes in the carbohydrate reserves of baker's yeast during growth and standing. Journal of the Institute of Brewing, v.67, p.249-259, 1961.

THIEMANN, J.E. Produção de enzimas por fermentação em substrato semi-sólido com especial referência às celulases. In: SEMINÁRIO DE HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DE BIOMASSAS, Maringá. p.107-131, 1985.

TODA FRUTA. [www.todafruta.com.br](http://www.todafruta.com.br). 04/12/2005.

]

TOYAMA, N. Feasibility of sugar production from agricultural and urban cellulosic wastes with *Trichoderma viride* cellulose. Biotechnology Bioengineering, n.6, p.207-219, 1976.

UCHIDA, S.; LANA, I.K.; HORIZOME, T. Feeding value of pineapple bran produced in Philippines. Sci. Rep. Fac. Agric. Okayama univ. 58:55 - 62, 1980.

VAN DEN BERG, C. Description of water activity of food engineering purposes by means of the GAB model of sorption. In: McKenna BM, editor. Engineering and foods. New York: Elsevier; p.119-31.1984.

VANANUVAT, P.; KINSELLA, J. E. Amino acid composition of protein isolates from *Saccharomyces fragilis*. Journal Agricultural Food Chemistry, v.23, n.3, p.595-597, 1975.



VIEIRA, C.V.; VASQUE, H.M.; SILVA, J.F.C. Composição química-bromatológica e Degradabilidade *IN SITU* da matéria seca, proteína bruta, fibra detergente neutro e taxa de passagem de três espécies de maracujá (*Passiflora spp*). Revista Brasileira de Zootecnia, v.28, n.5, p.1148-1158, 1999.

VIEIRA, C.V.; VASQUE, H.M.; SILVA, J.F.C.; DORIGO, D.M.; FERNANDES, A.M. Composição química-bromatológica da matéria seca de resíduo (casca) de três espécies de maracujá (*Passiflora spp*). Anais da 33<sup>a</sup> Reunião Anual da SBZ. p.279-280, 1996.

VIEIRA, C.V.; VASQUE, H.M.; SILVA, J.F.C.; FERNANDES, A.M. Degradabilidade *IN SITU* da matéria seca, proteína bruta, fibra detergente neutro e taxa de passagem de três espécies de maracujá (*Passiflora spp*). Anais da 34<sup>a</sup> Reunião Anual da SBZ. p.64-66, 1997.

VILLEGAS, E.; AUBAGUE, S.; ALCANTARA, L.; AURIA, R.; REVAH, S. Solid state fermentation: acid protease production in controlled CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> environments. Biotechnology, v.11, p.387-397, 1993.

WIENKEN, A. Trehalose in yeast, stress protection rather than reserve carbohydrate. Antonie van Leeuwenhoek, v.58, p.209-217, 1990.

YANG, S.S. Protein enrichment of sweet potato residue with amylolytic yeasts by solid-state fermentation. N Biotechnology and Bioengineering, New York. v.32, n.5, p.886-890, 1988.

XAVIER, S.; KARANTH, N.G. A convenient method to measure water activity in solid state fermentation systems. Letters Applied Microbiology, v.15, p.53-55, 1992.

ZOMETA, C.A.; SOUSA, W.H.de; CASTRO, J.M.C.; DIAS, J.Q.; SHELTON, J.M. Thornless cactus (*opuntia ssp.*) and urea feeding to hair sheep Santa Inês in semi-arid tropics. Journal Animal of Scienc, v.61, n.1, 1985.

## Capítulo 11 – Anexos

### **Trabalhos Publicados**

